

第 2 2 回極域気水圏シンポジウム  
プログラム・講演要旨

The Twenty-second Symposium  
on  
Polar Meteorology and Glaciology  
Programme and Abstracts

1999年12月8日(水)～12月9日(木)  
December 8～9, 1999

国立極地研究所

National Institute of Polar Research  
Tokyo, Japan

## 第22回極域気水圏シンポジウム

### プログラム

日 時： 1999年  
12月8日（水）09：30～17：40  
12月9日（木）09：30～18：00

会 場： 国立極地研究所 講堂（6階）

主 催： 国立極地研究所



## 第 2 2 回極域気水圏シンポジウム・日程表

1 2 月 8 日 (水)	1 2 月 9 日 (木)
開会の挨拶 平澤威男 (極地研所長) 9:30~9:40	VI. コア解析研究 (6) 9:30~10:45 座長: 川田邦夫 (富山大)
I. 北極 (6) 9:40~10:55 座長: 小西啓之 (大阪教育大)	
休憩 10:55~11:05	休憩 10:45~10:55
II. エアロゾル (4) 11:05~11:55 座長: 山形 定 (北大・工)	VII. ドームふじコア解析研究 (5) 10:55~11:55 座長: 藤野和夫 (北海道工業大)
昼食・休憩 11:55~13:00	昼食・休憩 11:55~13:00
PI. ポスター発表 (23) 13:00~14:00 大気 海水	特別セッション 13:00~15:30 「極域氷床深層コア解析による地球環境変動の復元研究」 座長: 前 晋爾 (北大・工)
III. オゾン・大気微量成分 (5) 14:00~15:00 座長: 菅原 敏 (宮城教育大)	
休憩 15:00~15:10	休憩 15:30~15:40
IV. 大気循環・放射 (6) 15:10~16:25 座長: 佐藤 薫 (極地研)	PII. ポスター発表 (26) 15:40~16:40 雪氷
V. 海氷・海洋 (6) 16:25~17:40 座長: 大島慶一郎 (北大・低温研)	VIII. 雪氷物理・氷床環境 (6) 16:40~17:55 座長: 清水 弘 (藤女子大)
	閉会の挨拶 17:55~18:00 渡辺興亜 (極地研)
懇親会: 研究棟 2 F 講義室 18:00~19:30	

\* 各セッションの ( ) 内の数字は講演数

\* 口頭発表の講演時間は12分 (発表10分、質疑2分)

## 第 2 2 回極域気水圏シンポジウムプログラム

口頭発表の講演時間は 12 分（発表 10 分、質疑 2 分）

12月8日（水） 9:30～17:40

開会の挨拶 国立極地研究所所長 平澤威男 （9:30～9:40）

### I. 北極（9:40～10:55）

座長：小西啓之（大阪教育大）

#### I-1 スカンジナビア北極圏での降水現象の特徴

佐藤淳一、○遊馬芳雄（北大院・理）、梶川正弘（秋田大・工学資源）、  
佐藤昇（大阪府教育センター）、菊地勝弘（秋田県立大）

#### I-2 シベリア北極圏における大気環境汚染調査

深澤達矢、太田幸雄（北大）、榎本恭一（東洋エンジニアリング）、  
村尾直人、山形定（北大）

#### I-3 Ny-Alesund における降雪粒子に含まれる化学成分の調査

遠藤辰雄（低温研）、高橋庸哉（北教大）、野口泉（道環科セ）、  
古賀聖治（資環研）、和田誠（極地研）

#### I-4 カナダ北極対流圏におけるライダー観測と大気エアロゾル粒子の直接採取

石井昌憲、柴田隆、木戸瑞佳、酒井哲、長田和雄、原圭一郎（名大・STE研）、  
板部敏和、水谷耕平（通信総研）、永井智広（気象研）、藤本敏文、内野修  
（気象庁）

#### I-5 1999年冬季・春季スバルバルニーオルスンのエアロゾル粒子数濃度

和田誠（極地研）、遠藤辰雄（北大・低温研）、小西啓之（大阪教育大）、  
平沢尚彦（極地研）、○古賀聖治（資環研）

#### I-6 Ny-Alesund における対流圏エアロゾルのライダー観測

古川淳一、藤原玄夫、白石浩一、村山健太郎、林政彦（福岡大・理）、  
岩坂泰信、柴田隆、足立宏、石井昌憲、田村耕一、大橋鉄弥、西田千春、  
矢部愛（名大・STE研）

休憩：10:55～11:05

### II. エアロゾル（11:05～11:55）

座長：山形 定（北大・工）

#### II-1 南極昭和基地での酸性ガス濃度の変化 —38次、39次観測の結果—

原圭一郎、長田和雄、木戸瑞佳、松永捷司、岩坂泰信（名大・STE研）、  
山内恭、橋田元（極地研）、林政彦（福岡大・理）、深津徹（東海電監）



## II-2 昭和基地上空における成層圏エアロゾルの季節変化

—2年間にわたる光散乱計数型エアロゾルゾンデによる観測—

木津暢彦、岸隆幸、安田毅彦、吹田俊明、堀川和久、大河原望（気象庁）、  
林政彦（福岡大）、渡辺征春、岩坂泰信（名大・STE研）、山内恭、橋田元  
（極地研）

## II-3 ドームふじ基地の大気エアロゾルに含まれる水溶液イオン濃度

昭和基地との同時観測

長田和雄（名大・STE研）、林政彦（福岡大・理）、原圭一郎、木戸瑞佳  
（名大・STE研）、山内恭、橋田元（極地研）、深津徹（東海電監）、  
宇井啓高（富山大・教育）、松永捷司、岩坂泰信（名大・STE研）

## II-4 ドームふじの大気エアロゾルの濃度・粒径分布の変動 —昭和基地との比較観測—

林政彦、松本易典（福岡大・理）、長田和雄、岩坂泰信、長谷正博、中田滉  
（名大・STE研）、田阪茂樹（岐阜大）、飯田孝夫（名大・工）、平沢尚彦、  
山内恭（極地研）

昼食・休憩：11：55～13：00

## PI. ポスター発表（大気・海氷）（13：00～14：00）

### PI-1 南極オゾンホールに伴うオゾン減少の季節的な開始時期とその減少速度

忠鉢繁（気象研）

### PI-2 ドームふじ上空の成層圏エアロゾルの季節変動 —エアロゾル・PSCSの輸送—

林政彦、村山健太郎、白石浩一、藤原玄夫（福岡大・理）、渡辺征春、  
柴田隆、足立宏、酒井哲、田村耕一、長谷正博、中田滉、岩坂泰信  
（名大・STE研）、平沢尚彦、山内恭（極地研）

### PI-3 NOAA衛星AVHRR雲検知手法のドームふじでの検証

山内恭、平沢尚彦（極地研）、門崎学（高知大）

### PI-4 85GHZ マイクロ波輝度温度画像からの南極の地上気温推定

佐々木順一、<sup>○</sup>畑中雅彦（室蘭工大）、和田誠、平沢尚彦（極地研）

### PI-5 TRMM 降雨レーダで観測されたヒマラヤの地表面散乱特性

前野英生、花土弘、松岡建志（通総研）

### PI-6 冬季北極対流圏中の無機ハロゲン化合物

原圭一郎、長田和雄、松永捷司、岩坂泰信、柴田隆（名大・STE研）

### PI-7 AAMP98 成層圏・対流圏観測で見られた粒子数濃度分布の特徴

渡辺征春、長田和雄、猪股弥生、岩坂泰信（名大・STE研） 山形定  
（北大・工）、塩原匡貴（極地研）、土屋政義（シグマテック）、大橋敏次  
（DAS）

### PI-8 北極圏航空機観測（AAMP98）で観測されたヘイズ現象

山形定、庄司和弘、村尾直人、太田幸雄（北大・工）、塩原匡貴、藤井理行  
（極地研）

### PI-9 マイクロパルスライダーによる北極スパーラルの雲観測

塩原匡貴、和田誠（極地研）、柴田隆（名大・STE研）

### PI-10 冬期グリーンランド海におけるCO<sub>2</sub>分圧、無機全炭酸および栄養塩の測定

吉村悟、青木周司、中澤高清（東北大）、森本真司、牛尾収輝、伊藤一  
（極地研）

PI - 11 初期の極成層圏雲粒子と温度との関係

足立宏、柴田隆、酒井哲、石井昌憲、田村耕一、長谷正博、大橋鉄弥、  
西田千春、矢部愛、岩坂泰信（名大・STE研）、白石浩一、村山健太郎、  
古川淳一、林政彦、藤原玄夫（福岡大・理）

PI - 12 極域ツンドラにおける水収支観測

佐藤軌文、石井吉之、兒玉裕二（北大・低温研）、野村睦（北大・演習林）

PI - 13 北半球中・高緯度における硫化カルボニル（COS）濃度の緯度分布

猪股弥生、松永捷司（名大・STE研）、菅原敏（宮城教育大）、森本真司  
（極地研）、長田和雄（名大・STE研）、林政彦（福岡大・理）、岩坂泰信、  
渡辺征春（名大・STE研）、塩原匡貴（極地研）

PI - 14 北極域Ny-Aalesundで観測された大雲粒付雪結晶

小西啓之（大阪教育大）

PI - 15 新しい北極大気観測「北極域対流圏・成層圏物質の変動と気候影響」

山内恭（極地研）、北極大気観測グループ

PI - 16 1987-1999のオホーツク海海水の変動

館山一孝、榎本浩之（北見工大）

PI - 17 多周波多偏波合成開口レーダ（SAR）によるオホーツク海氷の観測

松岡建志、浦塚清峰、佐竹誠、小林達治、灘井章嗣、梅原俊彦、前野英生  
（通総研）、若林裕之（NASDA）、西尾文彦（北海道教育大・釧路）

PI - 18 船舶に搭載したレーザ距離計によるオホーツク海の海氷観測（その2）

下田春人、宇都正太郎（船舶技研）

PI - 19 カナダ海盆における夏季ベーリング海水

島田浩二、畠山清、菊地隆、西野茂人、滝沢隆俊（JAMSTEC）

PI - 20 衛星データによる海氷データセット整備に関する研究

谷口悠司、中山雅茂、長幸平、下田陽久、坂田俊文（東海大）

PI - 21 衛星データによる氷床縁辺部の融解過程の観測

榎本浩之（北見工大）

PI - 22 海氷上の雪氷（snow ice）と上積氷（superimposed ice）の作成実験

河村俊行（北大・低温研）、佐藤篤司、鎌田慈（防災研・新庄）、石川信敬、  
滝沢厚詩（北大・低温研）、松葉谷治（秋田大・工学資源）

PI - 23 船上ビデオ撮影による広域海氷画像の生成

久保守、轡田大介、村本健一郎（金沢大・工）

### III. オゾン・大気微量成分（14:00～15:00）

座長：菅原 敏（宮城教育大）

III - 1 昭和基地における地上オゾン濃度観測（39次）

堀川和久（与那国島測候所）、江崎雄治（福岡管区気象台）、岸隆幸  
（札幌管区気象台）、安田毅彦（大気環境観測所）、吹田俊明  
（秋田地方気象台）、大河原望（気象衛星センター）

III - 2 3次元化学輸送モデルを用いた極域オゾンの変動に関する数値実験

佐々木徹、加藤寿史、赤木万哲（気象庁）

III - 3 昭和基地上空における著しいオゾン減少（1998年9月～12月）

安田毅彦、岸隆幸、吹田俊明、堀川和久、大河原望（気象庁）

III-4 ドームふじおよびH72地点におけるフィルン空気の微量成分の分布

川村賢二、青木周司、中澤高清（東大院・理）、橋田元（極地研）、  
鈴木啓助（信州大・理）、山田知充（北大・低温研）、藤井理行（極地研）

III-5 昭和基地におけるグラブサンプラー回収気球実験 —第39・40次隊報告—

橋田元、森本真司、山内恭（極地研）、本田秀之、矢島信之（宇宙研）、  
青木周司、中澤高清、岡野章一（東大院・理）、町田敏暢（環境研）、  
桜庭俊昭（電子研）

休憩：15：00～15：10

IV. 大気循環・放射（15：10～16：25）

座長：佐藤 薫（極地研）

IV-1 北極振動（AO）とプラネタリー波の傾圧不安定のフィードバックについて

田中博、時長宏樹（筑波大・地球科学）

IV-2 昭和基地ラジオゾンデ温度観測データに基づく鉛直波数スペクトルの研究

吉識宗佳、佐藤薫（京大・理）

IV-3 1997年冬期の南極内陸での高気圧域の形成とドームふじ観測拠点の天候変化

平沢尚彦（極地研）、中村尚（東大・理、地球フロンティア）、山内恭  
（極地研）

IV-4 ECMWF客観解析データによる1997年6月の昇温現象の解析

初鹿宏壮、山崎孝治（北大院・地球環境）

IV-5 衛星搭載マイクロ波放射計の37GHzデータの時系列解析による南極Wilkes Landにおける1982の暖気  
流入の観測

スーディク スィルヴィアン（北大・低温研）

IV-6 スプリットウィンドウデータによる大陸規模での可降水量の推定

久慈誠（奈良女子大）、岡田格（科技振興事業団）、内山明博（気象研）、  
高村民雄（千葉大）

V. 海氷・海洋（16：25～17：40）

座長：大島慶一郎（北大・低温研）

V-1 北海道湧別沖における海氷の厚さと漂流速度の係留観測

深町康（北大・低温研）、水田元太（北大・地球環境）、大島慶一郎、  
若土正暁、青田昌秋（北大・低温研）

V-2 オホーツク海南部で採取された特徴的な薄い氷についての室内実験

豊田威信、河村俊行、若土正暁（北大・低温研）

V-3 南極海における融解期と結氷期の海氷分布の関係

二橋創平、大島慶一郎（北大・低温研）

V-4 海氷成長における放射特性の変化

滝沢厚詩、石川信敬、白澤邦男、河村俊行（北大・低温研）、佐藤篤司、  
鎌田慈（防災科研・新庄）

V-5 極海域におけるopen-ocean deep convection

秋友和典（京大院・理）

V-6 1998年オングル海峡における海水密度特性の季節内変化、季節変化と経年的変化

青木茂、橋田元、牛尾収輝（極地研）



懇親会（研究棟2階）：18：00～19：30

12月9日（木） 9：30～18：00

VI. コア解析研究（9：30～10：45）

座長：川田邦夫（富山大）

- VI-1 カムチャッカ半島・ウシュコフスキー氷冠コアによる環オホーツク海の新気候・古環境の復元  
西尾文彦、戸山陽子（北海道教育大・釧路）、白岩孝行（北大・低温研）、  
藤川哲也、田中教幸（北大・地環研）、亀田貴雄（北見工大）、  
Y. D. ムラビヨフ、A. A. オブシャニコフ（ロシア科学アカデミー・火山研）
- VI-2 カムチャッカ半島・ウシュコフスキー氷冠コアにおけるECM法を用いた年代の推定  
戸山陽子、西尾文彦（北海道教育大・釧路）、白岩孝行（北大・低温研）、  
亀田貴雄（北見工大）、高橋昭好（地球工学）、Yaroslav D. Muravyev,  
Alexander A. Ovsyannikov（Ins. of Volcanology, Russian Academy of Science）
- VI-3 グリーンランドGRIPコアの力学特性と新しい流動則  
宮本淳（北大・低温研）、庄子仁（北見工大）、成田英器、本堂武夫  
（北大・低温研）、Henrik B. Clausen（コペンハーゲン大）、渡辺興亜  
（極地研）
- VI-4 南極H15コアに存在する固体微粒子 —火山シグナルの可能性—  
佐藤竜央（日大・文理）、福岡孝昭（立正大・地球）、河野美香（極地研）、  
林伸幸（日大・文理）藤井理行（極地研）、遠藤邦彦（日大・文理）
- VI-5 アミノ酸ラセミ化法をもちいたアイスコア年代測定に関する研究  
中澤文男、大田啓一、中尾正義、藤田耕史、上田豊（名大・水圏研）、  
韓建康（湖南師範大）、竹内望（東工大）
- VI-6 全球水同位体循環モデルとその極域水循環への応用  
沼口敦（北大院・地球環境）、杉本敦子（京大・生態研）

休憩：10：45～10：55

VII. ドームふじコア解析研究（10：55～11：55）

座長：藤野和夫（北海道工業大）

- VII-1 1999年末までのドームふじ深層コアの基本解析成果  
ドーム計画基本解析グループ
- VII-2 南極ドームふじにおける過去35万年間の水素同位体比及びd-excess変動とその解釈  
中尾正義（名大・水圏研）、渡辺興亜、本山秀明（極地研）、吉田尚弘  
（東工大）、末吉哲雄（東大）、橋本重将（名大・水圏研）、栗田直幸  
（東工大）
- VII-3 南極ドームふじコア火山灰層に含まれる火山ガラス —その化学組成と給源—  
河野美香、藤井理行（極地研）、的場澄人（北大・低温研）

VII-4 南極ドームふじ深層コアのガス分析

中澤高清、○川村賢二、青木周司（東北大院・理）、渡辺興亜（極地研）

VII-5 南極ドームふじ氷床深層コアのもつ電気的特性の概要

藤田秀二（北大・工）、東信彦（長岡技科大）、本山秀明（極地研）

松岡建志\*、前晋爾（北大・工、\*現・通総研）、渡辺興亜（極地研）

昼食・休憩 11:55~13:00

特別セッション（13:00~15:30）

「極域氷床深層コア解析による地球環境変動の復元研究」

座長：前 晋爾（北大・工）

ドームふじコア解析計画

渡辺興亜（極地研）

深層コアに記録された陸海域起源物質と気候変動

藤井理行（極地研）

氷床コアから得られた過去の大気組成変動

青木周司（東北大院・理）

深層コアの物性と氷床変動

本堂武夫（北大・低温研）

両極氷床コアの物理的性質に関する比較研究

庄子仁（北見工大）

休憩 15:30~15:40

PII. ポスター発表（雪氷）（15:40~16:40）

PII-1 北極圏学術調査隊（JAGE99-Svalbard）活動報告（1）——調査・観測の概要——

渡辺興亜、本山秀明、東久美子、五十嵐誠（極地研）、宮原盛厚

（（株）日本リンク）、永崎智晴（新潟大）、Lars Karlof, Elisabeth Isaksson  
（Norwegian Polar Ins.）

PII-2 北極圏学術調査隊（JAGE99-Svalbard）活動報告（2）——氷コア化学分析速報——

五十嵐誠、本山秀明、東久美子、渡辺興亜（極地研）、的場澄人

（北大・低温研）、Elisabeth Isaksson（Norwegian Polar Ins.）

PII-3 シベリア広域積雪の化学特性について

西尾文彦、戸山陽子（北海道教育大・釧路）、渡辺興亜、藤井理行（極地研）、

小林俊一（新潟大）、高橋晃（通総研）、山田知充（北大・低温研）

PII-4 97/98冬季グリーンランド、シオラパルクにおける降雪中の化学成分組成

的場澄人（北大・低温研）、山崎哲秀、本山秀明（極地研）

PII-5 カナダ北極域デボン氷帽における多点ピットの化学成分分布

東久美子（極地研）、Roy M. Koerner, Jocelyne Bourgeois

（カナダ地質調査所）、Christian Zdanowicz（ニューハンプシャー大）、  
渡辺興亜（極地研）

- PII - 6 GRIPコアの気泡数密度とクラスレート・ハイドレート  
下原喜美子、吉井英人（北見工大）、的場澄人、奥山純一、成田英器  
（北大・低温研）、川田邦夫（富山大）、百武欣二、庄子仁（北見工大）
- PII - 7 グリーンランドNorth GRIP-99 深層コア掘削解析研究  
庄子仁（北見工大）、成田英器（北大・低温研）、本山秀明、渡辺興亜  
（極地研）
- PII - 8 レーザートモグラフィを用いたNGRIP浅層S1コアの堆積構造解析  
高田守昌（総研大）、藤井理行（極地研）、庄子仁（北見工大）、東信彦  
（長岡技科大）、渡辺興亜（極地研）
- PII - 9 浅層掘削による氷床コアおよびフィルン・エア採取（JARE-39）  
鈴木啓助（信州大）、山田知充（北大）、橋田元、渡辺興亜（極地研）
- PII - 10 南極昭和基地における降雪の化学特性（JARE-39）  
鈴木啓助（信州大・理）、五十嵐誠、渡辺興亜（極地研）
- PII - 11 南極S25コア中の酸性度と化学成分  
渡辺幸一（名大・水圏研）、佐藤和秀（長岡高専）、神山孝吉、本山秀明、  
渡辺興亜（極地研）
- PII - 12 南極雪氷試料中の全有機態炭素の分布に関する研究  
吉沢雪子、河村公隆（北大・低温研）、東信彦（長岡技大）、藤井理行、  
本山秀明、渡辺興亜（極地研）
- PII - 13 東南極ハムナ氷河底面氷の化学的性質  
飯塚芳徳（総研大）、五十嵐誠（極地研）、佐竹洋（富山大）、白岩孝行、  
成瀬廉二、山田知充（北大・低温研）、渡辺興亜（極地研）
- PII - 14 JARE 観測のEast Queen Maud Land の基盤地形を用いた南極氷床の数値実験  
齋藤冬樹、阿部彩子（東大気候システム研究センター）
- PII - 15 スダンブラックBを染料とした積雪の片薄片製作技術  
八久保晶弘（北見工大）、荒川逸人（野外科学）、西田顕郎（筑波大）、  
福沢卓也（北大・低温研）、秋田谷英次（北星学園大）
- PII - 16 極地氷床の空気包接水和物結晶における空気分子の分布  
池田倫子（北大・低温研）、A. N. Salamatina（Kazan State Univ.）、  
V. Ya. Lipenkov（AARI）、本堂武夫（北大・低温研）
- PII - 17 雪上滑走路造成に関する実験的研究（2）  
亀田貴雄、高橋修平、百武欣二、前田達成（北見工大）、菊池規哲、石橋勉  
（しばれ研）、渡辺興亜（極地研）
- PII - 18 南極ドームふじ周辺氷床の2次元断面物理構造  
藤田秀二（北大・工）、前野英生、浦塚清峰（通総研）、古川晶雄（極地研）、  
前 晋爾（北大・工）、藤井理行、渡辺興亜（極地研）
- PII - 19 ドームふじコアにおけるクラスレート数密度が示す古環境情報  
平松賢泰（北大院・地球環境、低温研）、成田英器、本堂武夫  
（北大・低温研）、藤井道子（（株）ティエスティ）、渡辺興亜（極地研）
- PII - 20 ドームF氷床コアのX線回折プロファイル測定  
堀彰、森川公彦、成田英器、本堂武夫（北大・低温研）
- PII - 21 ドームFコアの氷期-間氷期移行期におけるダストと気温変動  
藤井理行、渡辺興亜、神山孝吉、本山秀明、東久美子、五十嵐誠、  
河野美香（極地研）、的場澄人（北大・低温研）
- PII - 22 ドームふじコアの気泡及び空気包接水和物結晶の大気組成比  
福村拓（北大・工）、池田倫子（北大・低温研）、深澤裕、前晋爾  
（北大・工）、本堂武夫（北大・低温研）



PII - 23 南極ドームFにおける積雪、大気エアロゾルおよび酸性ガスの化学 (4)

金森悟、金森暢子 (名大)、渡辺興亜、藤井理行、本山秀明 (極地研)、  
東信彦 (長岡技大)、亀田貴雄 (北見工大)

PII - 24 南極ドームふじ積雪中の火山起源硫酸エアロゾル

河野美香、藤井理行 (極地研)

PII - 25 南極ドームふじ観測拠点における積雪層の季節変化

本山秀明、神山孝吉、渡辺興亜 (極地研)

PII - 26 1997-1998南極ドーム基地周辺無人氣象観測

高橋修平、亀田貴雄、榎本浩之 (北見工大)、鈴木啓助 (信州大)、  
本山秀明、渡辺興亜 (極地研)、G. A. Weidner, C. R. Stearns  
(Univ. of Wisconsin)

VIII. 雪氷物理・氷床環境 (16:40~17:55)

座長：清水 弘 (藤女子大)

VIII-1 しもざらめ雪形成に伴う積雪の安定同位体分別

八久保晶弘 (北見工大)、橋本重将、中尾正義 (名大・水圏研)、西村浩一  
(北大・低温研)

VIII-2 針状氷晶の枝の形成過程について

権田武彦、清忠師 (愛知学院大・教養)

VIII-3 氷床コアのレーザートモグラフ堆積構造解析装置の開発と評価

高田守昌 (総研大)、藤井理行 (極地研)

VIII-4 東南極ハムナ氷河底面氷の形成過程

飯塚芳徳 (総研大)、佐竹洋 (富山大)、白岩孝行、成瀬廉二  
(北大・低温研)、渡辺興亜 (極地研)

VIII-5 2次元および3次元における指数則流体の構成方程式に関する考察

浮田甚郎 (地球フロンティア)

VIII-6 干渉合成開口レーダの南極氷床域への適用

小澤拓 (総研大)、土井浩一郎、澁谷和雄 (極地研)

閉会の挨拶      国立極地研究所      渡辺興亜      (17:55~18:00)

## 第22回極域気水圏シンポジウム

### 講演要旨

## スカンジナビア北極圏での降水現象の特徴

佐藤淳一・遊馬芳雄（北大院・理）・梶川正弘（秋田大・工学資源）  
佐藤昇（大阪府教育センター）・菊地勝弘（秋田県立大学）

### Characteristics of Precipitation in Arctic Scandinavia

J.Sato, Y.Asuma (Hokkaido University), M.Kajikawa (Akita University),  
N.Sato (Osaka Prefectural Education Center), K.Kikuchi (Akita Prefectural University)

Observations for precipitation phenomena in the Arctic Scandinavia were carried out from the middle of December 1997 to the middle of January 1998 by Hokkaido University's vertical pointing Doppler radar at Kiruna, Sweden. Precipitation behavior was strongly influenced by the topography of Scandinavian Mountains, and surface wind directions were limited east-southeasterly and westerly during snowfall. When the wind direction was east-southeasterly, the air mass ascended the mountain slope, relatively weak wind, stronger precipitation and liquid water path were observed. In contrast, when wind direction was westerly, air mass descended the mountain slope, smaller amount of precipitation and little amount of liquid water path were observed.

#### はじめに

1997年12月中旬から翌1998年1月中旬にかけて、国際学術研究「冬の北極域における水蒸気、エアロゾル輸送過程と多結晶の成長に関する研究（研究代表者：菊地勝弘北大教授）」の一環としてスウェーデン・キルナのスウェーデン宇宙物理研究所（IRF）（67°50'N, 20°28'E）に鉛直ドップラーレーダーを設置し、スカンジナビア北極圏での降水現象の観測を行った。観測された降水現象はスカンジナビア半島の地形の影響を強く受けていたので、今回は地形と降水現象の関係について報告する。

#### 解析に使用したデータ

キルナIRFに設置した北大大学院理学研究科の鉛直ドップラーレーダーおよび電子天秤を利用した降水量計、地上気象データ、東に約40 km離れたエスレンジ（67°53'N, 21°06'E）に設置されたIRFのMST（Mesosphere Stratosphere Troposphere）レーダー、および気象庁の全球客観解析（GANAL）を用いて、観測期間中の降水現象をスカンジナビア半島の地形に注目して解析した。キルナはスカンジナビア山脈の南東斜面に位置し、約20 km離れて、高さ2 km以上のスカンジナビア山脈が南西から北東方向にそびえている。

#### 解析結果

1997年12月15日～1998年1月14日までの地上の風の出現積算時間分布を図1に示した。12月中は西風が多く、1月中は東風が多く観測されている。図2にMSTレーダーで観測された3 kmの風向別積算時間を示す。出現傾向に時期的な変化があるが、ほぼ全方位に分布している。さらに、図3に1°毎の方向別に見た平均風速と（上）と出現積算時間分布（下）を示した。出現頻度は東南東（110°）と西（265°）が圧倒的に多く、斜面の方向に対応している。風速は、斜面上昇

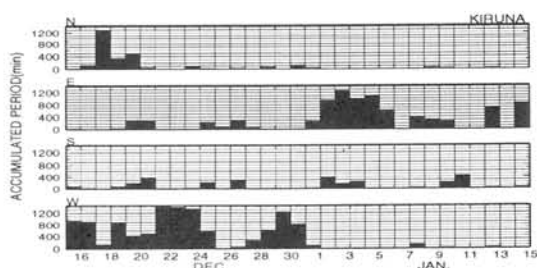


図1 地上の風の方位別出現積算時間。

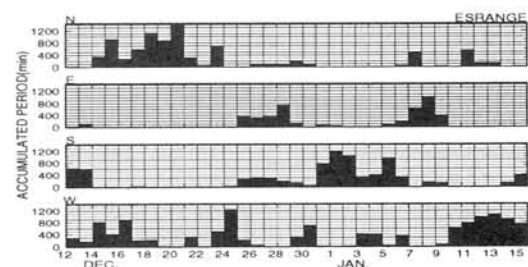


図2 上空3.1 kmの風の方位別出現積算時間。

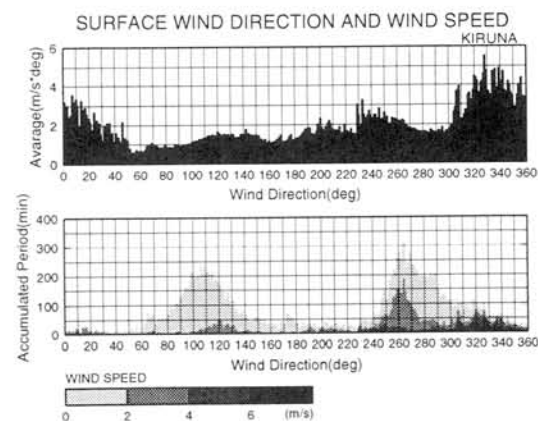


図3 地上の1°毎の方向別平均風速(上)と積算時間(下)。



時が比較的弱く、下降時に強い傾向がある。同様に、風向別の地上降水量と雲水量との関係を見る。図4に、降水が観測された時の1°毎の平均降水量と（上）と出現積算時間分布（下）を示した。積算時間は図3同様、斜面を上昇する東南東風と下降する西風にピークがみられる。しかし、降水量をみると、東南東風時には多いのに対し、西風の場合極端に少ない。図5に方向別の平均雲水量と（上）と雲水量が観測された出現積算時間分布（下）を示した。雲水量は斜面を上昇する東南東の方向(100°)にしか出現していない。平均雲水量は60°~150°の方向にほぼ一様に多くなっている。これらのことは、東南東の風の場合、空気塊が斜面を上昇し、弱い上昇流となって、雲水が空気塊内に作られ、降水となって地上観測されたと考えられる。一方、西風の場合はノルウェー海の方からスカンジナビア山脈を越えて降水粒子が進入し、下層での蒸発過程に地上に到達するので降水が非常に弱くなっていると考えられる。

風向によって降水の形態が大きく異なる具体例を図6に示した。上図は鉛直レーダーからの反射強度、下図はMSTレーダーからの水平風である。前線がキルナ上空を14時に通過した。これ以前は北西風で降水は高度約4 kmに現れ、地上に達していない。しかし前線の通過後、風向は高度3 km以上で西風、それより下層では南風になっている。降水エコーは、前線に伴う弱いエコーが高度4 km付近に現れていて、3 km以下で急激に増加している。これは、前線に伴う上空からの弱い降水が山岳性の雲によって増強されている様子を示していて、いわゆる Seeder-Feeder メカニズムによって強化された降水を観測したものと考えられる。

まとめ

スカンジナビア北極圏のスウェーデンのキルナで観測された降水現象の特徴について調べた。キルナでの降水は地形的影響を強く受けていて、斜面を上昇する東南東の風の場合と、下降する西風の場合に大きく異なって現れていた。東南東の風の場合は、風は弱く、降水量は多く雲水も多く観測された。一方、西風の場合は、降水の出現は多いが降水量は非常に少なく雲水はほとんど観測されなかった。また、前線通過時に関する降水は、前線通過前は北西風で、上空に弱いエコーは現れているが地上に到達していない一方で、前線通過後、風向は下層で南向きになり、上空からの降水が地形によって増強されている様子が観測された。

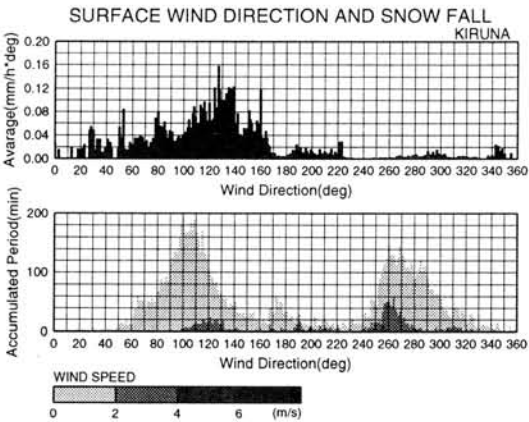


図4 図3に同じ。ただし、降水量。

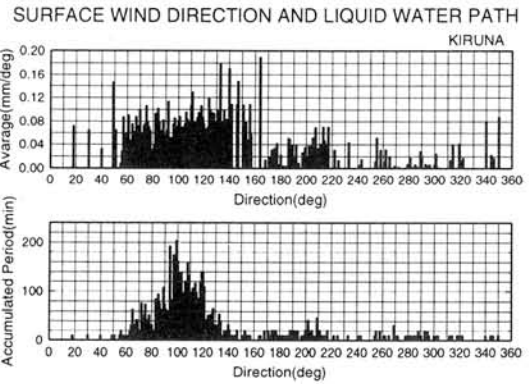


図5 図3に同じ。ただし、雲水量。

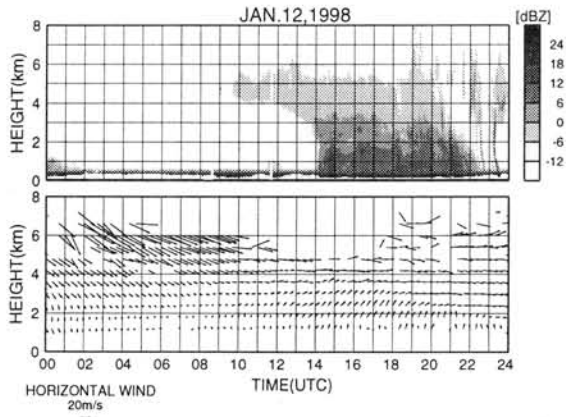


図6 鉛直レーダーからの反射強度(上)とMSTレーダーからの水平風(下)。

## シベリア北極圏における大気環境汚染調査

深澤達矢・太田幸雄（北海道大学）、榎本恭一（東洋エンジニアリング）、村尾直人・山形 定（北海道大学）

## Measurements of Atmospheric Pollution in the Siberian Arctic

FUKASAWA Tatsuya, OHTA Sachio (Hokkaido University), ENOMOTO Kyoichi (Toyo Engineering INC.),  
MURAO Naoto, YAMAGATA Sadamu (Hokkaido University)

Atmospheric concentrations of aerosol chemical species and  $\text{SO}_2$  have been measured at Tiksi, Yakutsk and Norilsk in Siberia from 1993. Concentrations of  $\text{SO}_4^{2-}$ , Pb, Cu, Ni, and V at Tiksi increase in winter and spring, and decrease in summer. Concentrations of  $\text{SO}_4^{2-}$ , Ni and Cu in the moss and larch leaf samples decreased with distance from nickel and copper smelters in Norilsk. Concentrations of pollutants in the surface soil were higher than those in the soil 20-30 cm below in Norilsk and Tiksi. It suggests that the long range transported atmospheric pollutants deposit on the surface and accumulate in the upper layer of permafrost in the Siberian Arctic.

**はじめに** 1993 年から東シベリアのレナ川中流域に位置するヤクーツク（北緯 62 度，東経 130 度），ラプテフ海に面したティクシ（北緯 72 度，東経 129 度）及びタイミル半島の下部，エニセイ川河口付近に位置するノリリスク（北緯 69 度，東経 89 度）において，大気中のガス及びエアロゾルの濃度測定と，土壤，コケ類及びカラマツ等の植物葉中に含まれている各種汚染物質成分の濃度測定を行ってきたので報告する．

**方法** 直径 47mm のテフロン及び石英フィルターを通じ毎分 5L の流量で半月間または 1 ヶ月間毎に大気を連続吸引し，フィルター上に捕集して ICP-MS，イオンクロマトグラフィー，カーボンアナライザーで分析した．また，土壤，コケ，カラマツ葉を採取し，乾燥，粉碎，均質化し蒸留水抽出後イオンクロマトグラフィーにより水溶性成分を，蛍光 X 線法により土壤主要成分を，ICP-MS により他の金属成分を分析した．

**結果** 【大気エアロゾル成分】ティクシにおける大気中の鉛，銅，ニッケル，バナジウム等鉱業活動に由来する重金属エアロゾル成分及び硫酸エアロゾル濃度はいずれも冬～春期にかけて高濃度，夏期に低濃度であった．一方，ノリリスクにおける大気中の重金属エアロゾル濃度（単位  $\text{ng}/\text{m}^3$ ）は，銅：2～300（平均 58），鉛：0.5～83（平均 22），ニッケル：1～48（平均 19）であった．札幌におけるこれらの年間平均濃度は銅：10～20，鉛：10～20，ニッケル：1～4 であり，やはりノリリスクにおいては銅及びニッケルが大量に排出されていることがわかる．

【カラマツ葉中の汚染物濃度】ノリリスク市街か

ら東方向に 100km，西方向に 70km にわたる数カ所において採取したカラマツ葉を分析した結果，銅，ニッケル，コバルト，鉛，バナジウム及び硫酸イオン濃度が市街に近いほど高濃度になっていた．

【コケ及び土壤中の汚染物濃度】ノリリスクにおけるコケ及び土壤中の陰イオン成分分析の結果，市街に近い地点で硫酸の濃度が非常に高いが，市外から離れるにつれ半分から 4 分の 1 に減少していた．一方，土壤中の硫酸濃度はそれほど高くなかった．同様に金属成分を分析した結果，ノリリスク市街に近いほどコケ及び深さ 5～10cm の表層土壤中のニッケル及び銅の濃度が高かった．各元素濃度のケイ素に対する割合を世界平均元素組成のそれと比較すると，深さ 5～10cm の土壤表層中のニッケル・銅の割合は深さ 20～30cm での値の 100 倍以上高くなっていた．深さ 20～30cm におけるこれらの割合は世界平均値と変わらないこと，及び表層ほどこの値が大きくなることから，ニッケル・銅コンビナートが操業を開始して以来排出されたこれらの汚染物が表層土壤中に蓄積されてきていることが推察された．同様に，ティクシ土壤中においてもマンガン，コバルト，銅，ニッケル濃度が表層において地下 20～30cm の値よりも数倍程度高くなる傾向が見られた．

このように大気汚染物質が長距離輸送され北極圏の永久凍土地帯にも沈着・蓄積していることから，今後北極圏における住民の健康影響評価，あるいは動植物生態系への影響評価等が北極圏における重要な研究課題の一つになると考えられる．

## Ny-Alesundにおける降雪粒子に含まれる化学成分の調査

遠藤辰雄（低温研） 高橋庸哉（北教大） 野口 泉（道環科セ） 古賀聖治（資源環境研） 和田 誠（極地研）

### INVESTIGATION OF CHEMICAL COMPONENTS IN SNOW PARTICLES ON NY-ÅLESUND

Tatsuo Endoh<sup>1</sup>, Tsuneya Takahashi<sup>2</sup>, Izumi Noguchi<sup>3</sup>, Seizi Koga<sup>4</sup> and Makoto Wada<sup>5</sup>  
 Institute of Low Temperature Science, Hokkaido University<sup>1</sup>, Hokkaido University of Education<sup>2</sup>, Hokkaido  
 Institute of Environmental Science<sup>3</sup>, National Institute for Resources and Environment<sup>4</sup> and National Institute of  
 Polar Research<sup>5</sup>

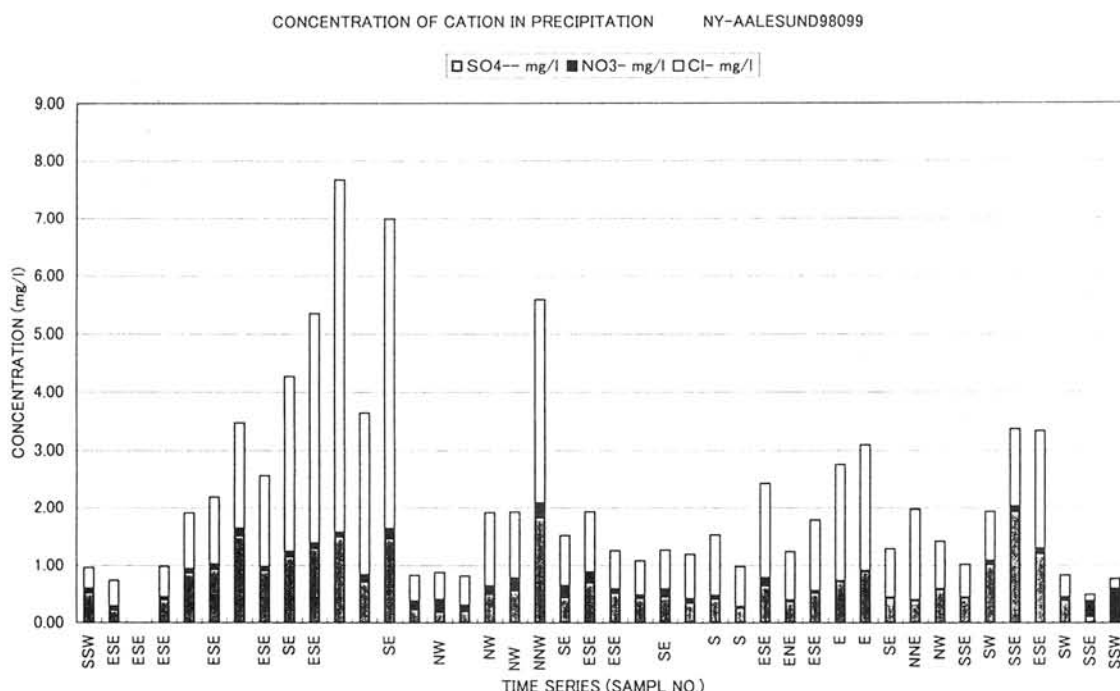
To investigate and verify the chemical components provided by long range transportation with precipitation processes, some observations were carried out at Ny-Alesund as sufficient remote area from source areas with some samples of solid precipitation particles, aerosol particles and gases. Snow particles without riming were observed to contain less and more concentrations of SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> and NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, respectively, by north westerly from arctic sea ice area than those with riming by south easterly from open sea in Gulf stream.

#### 1. 目的と方法

最近、硝酸塩も硫酸塩と同様に長距離輸送物質である可能性が観測から示唆されている。そこで長距離輸送物質であることを特定するために、充分なる遠隔地として北極圏のニーオルソンを選び、そこで降雪粒子と大気中のエアロゾルやガスの成分を調べてみた。観測は1998年12月16日から1999年1月9日までと同年3月2日から同月18日までの擾乱の到来頻度の高い二期間に行なわれた。防風ネット、電子天秤降雪強度計、Time-lapse-video顕微鏡により降雪粒子を、またローボリュムエアサンプラーによる濾紙法で大気試料がそれぞれ採取された。

#### 2. 結果と議論

この時期の現地では珍しく比較的風の弱い状態の降雪が多く降雪粒子が採取され、初めの期間の分析結果は下図の通りである。大部分の降雪粒子は風向が東南東で、雲粒付結晶であるが、風向が北西である13番～18番の降雪では雲粒の付かない雪結晶で、その成分は、他と比べて、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>が少なく、逆にNO<sub>3</sub><sup>-</sup>が多くなっているのが注目され、これまでの観測と矛盾はしていない。この風向は現地から見て、東南東はメキシコ湾流が北上して出きるopen-seaからの気流であり、北西は北極海の結氷野からの気流であるので雲流の有無と符合し、その発生源が明確に特定できるので、今後、含有成分の関係を詳しく比較して、この極域までの長距離輸送過程の成分に関して議論する。





## カナダ北極対流圏におけるライダー観測と大気エアロゾル粒子の直接採取

\*石井昌憲, 柴田 隆, 木戸瑞佳, 酒井 哲, 長田和雄, 原 圭一郎 (名大 STE 研),  
板部敏和, 水谷耕平(通信総研), 永井智広(気象研), 藤本敏文, 内野 修(気象庁)

### Lidar observations of troposphere and direct sampling of atmospheric aerosol particles in Canadian high Arctic

S. Ishii, T. Shibata, M. Kido, K. Osada, K. Hara (STE lab., Nagoya Univ.),  
T. Itabe, K. Mizutani (CRL), T. Nagai (MRI), T. Fujimoto, O. Uchino (JMA)

Lidar observation and sampling of arctic tropospheric aerosol particles were made at Eureka, Canada (80.0° N, 86.4° W) in the winter of 1998-99. Concentrations of water-soluble constituents of collected aerosol particles were measured by an ion chromatograph. The comparison between lidar observations and chemical analyses of aerosol particles showed that when falling ice crystals were observed by lidar or when a layer composed of non-spherical particles was observed in the lower troposphere the concentrations of chemical constituents related to sea-salt were high. And when the high concentration of  $\text{nss-SO}_4^{2-}$  was high, a thin layer was observed by lidar at an altitude of about 1.7 km where were a little higher than the top of Arctic inversion layer (1.5 km).

**はじめに** 我々は、カナダ北極圏ユーレカにおいて 1993/94 年冬季より 1998/99 年冬季まで北極対流圏エアロゾル粒子を対象としたライダー観測を行い、冬季対流圏におけるエアロゾル粒子とそれ以外の散乱体を判別する方法、エアロゾル粒子の発生頻度や流跡線解析による輸送過程等について発表を行ってきた。また、ライダーによる観測結果・流跡線解析そして地上で直接採取したエアロゾル粒子の電子顕微鏡観察から、ライダーによって観測されたエアロゾル粒子は海塩粒子であろうと推察した。1998/99 の観測では、ライダー観測とあわせてエアロゾル粒子のフィルターによる地上サンプリングを行った。本発表では、1998/99 におけるライダー観測とサンプリングしたエアロゾル粒子の化学成分の結果について検討した結果を報告する。

**ライダー観測と大気エアロゾルの採取・分析** ライダーによる観測は、天候が許す限り偏光測定可能なミー散乱ライダー(波長 0.532 μm)を用いて連

続的に行った。エアロゾル粒子は、フィルターホルダー(47mmφ, NILU)に孔径 1μm の PTFE フィルターを装着しポンプ吸引により捕集した。大気試料の捕集は 23 時間行った(流量: 14.5 L/min)。帰国後、得られた各大気試料に超純水 14 mL を加えて水溶性成分を抽出し、イオンクロマトグラフ法により分析を行った。

**結果** イオンクロマトグラフ法によって得られたエアロゾル粒子中の主要成分は、 $\text{Na}^+$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ であった。ライダー観測と主要成分の濃度変化を比較したところ、アISKリスタルが降り注いでいたり、あるいは非球形粒子によって構成される層が下部対流圏に存在している時に、海塩を構成する成分( $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$  etc)の濃度が高かった。一方、高い  $\text{SO}_4^{2-}$ 濃度が検出された時には、上空に薄い層をなした散乱体が長時間に渡って観測されていた。そして、その観測された層の高度は接地逆転層のトップ高度(1.5km)よりやや高いところに(約 1.7km)位置していた。

## 1999年冬季・春季スパーバルニーオルスンのエアロゾル粒子数濃度

和田誠（極地研）、遠藤辰夫（北大低温研）、小西啓之（大阪教育大）、  
平沢尚彦（極地研）、○古賀聖治（資環研）

## Aerosol number concentration at Ny-Aalesund during the winter and spring seasons in 1999

M. Wada (NIPR), T. Endo (ILTS Hokkaido Univ.), H. Konishi (Osaka Kyoiku Univ.),

N. Hirasawa (NIPR), ○S. Koga (NIRE)

Aerosol number concentrations were measured at Ny-Aalesund from December 1998 to April 1999. The slope of aerosol number distribution at Ny-Aalesund is relatively larger than that of distribution obtained at Titijima, Ogasawara. This study will discuss about the relationship between aerosol number concentrations and weather conditions, in detail.

## 1. はじめに

海洋上では、エアロゾル粒子数濃度の増加は直接的に大気を冷やす。しかし、反射率が1に近い雪氷面では、エアロゾル粒子に僅かでも放射エネルギーの吸収があれば地表-大気系は暖まることになる。極域エアロゾル粒子についての放射吸収率、前方散乱量と後方散乱量の比、個数粒径分布などの情報を得ることは、放射収支を議論する上で極めて重要なことである。

1998年12月から1999年4月まで、スパーバル諸島、ニーオルスンで雲、降水、エアロゾルの連続観測を行った。今回はエアロゾル粒子数濃度の時間変動と粒径分布の特徴について報告する。

## 2. 観測

半径 $0.15\mu\text{m}$ 以上の粒子数計測には光学式粒子カウンター（Optical particle counter, OPC; RION, KC-01C）、半径 $0.15\mu\text{m}$ 以下の粒子については凝縮粒子カウンター（Scanning mobility particle sizer, SMPS）を使用した。OPCは、半径 $0.15$ 、 $0.25$ 、 $0.5$ 、 $1$ 、 $2.5\mu\text{m}$ 以上の5段階で分級計測を行う。

大気試料は、観測用コンテナの上部に取り付けたステンレス製のパイプから引き込まれた。

## 3. 観測結果

観測結果の一例として、図1に3月2日から同月6日までのOPCで得られた粒子数濃度の変動を示す。半径 $5\mu\text{m}$ 以上の粒子数は、この期間0-10個/Lであった。図1からは半径 $5\mu\text{m}$ 以上の粒子数は省略してある。時々、数濃度がスパイク状に急増している箇所がある。これは、飛行機の離発着や車両の通過による局地的な汚染の影響と思われる。

演者は小笠原諸島父島において、今年7月に同様のOPC（KANOMAX, TF-500）を用いて、海洋大気中のエアロゾル粒子数濃度を計測した。ニーオルスンと父島での粒径分布を比較すると、両者の違いは明らかである。ニーオルスンでの粒径分布は、父島のそれよりも傾きが大きい。海塩起源粒子の影響、湿度などの違いが原因と考えられる。

講演では、観測期間中の気象要素などと粒径分布との関係や小笠原で得られた粒径分布との比較について詳細に報告する。

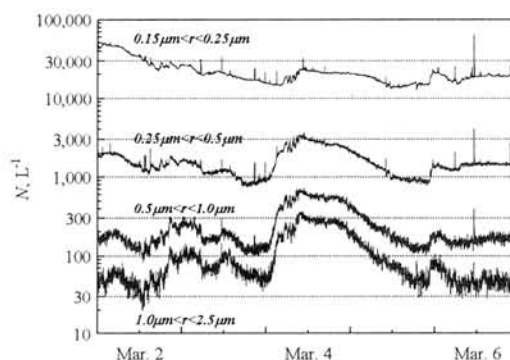


図1 1999年3月2日から同月6日までのニーオルスンでのOPCで得られた粒子数濃度の変動

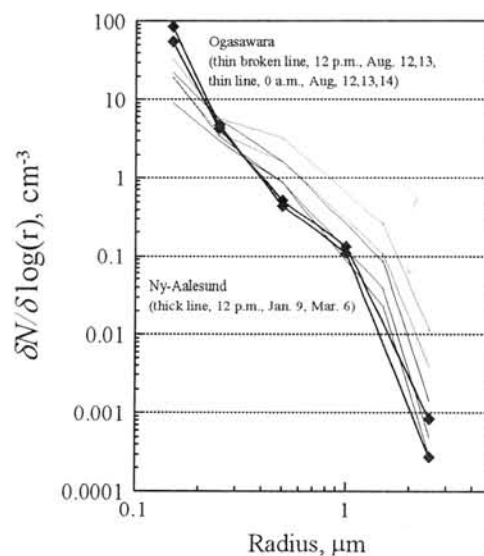


図2 ニーオルスンで得られたエアロゾル粒子の粒径分布と小笠原父島でのそれとの比較

## Ny-Ålesund における対流圏エアロゾルのライダー観測

\*古川淳一、藤原玄夫、白石浩一、村山健太郎、林 政 彦（福岡大学理学部）  
 岩坂泰信、柴 田 隆、足 立 宏、石井昌憲、田村 耕一、大橋鉄弥、西田千春、矢部愛（名古屋大学太陽地球環境研究所）

## Lidar observation of tropospheric aerosol over Ny-Ålesund

\*J. Furukawa, M. Fujiwara, M. Hayashi, K. Shiraishi, K. Murayama (Fukuoka Univ.)  
 Y. Iwasaka, T. Shibata, H. Adachi, S. Ishii, K. Tamura, T. Ohashi, C. Nishida, A. Yabe (STEL, Nagoya Univ.)

Lidar observation of atmospheric aerosols has been made at Ny-Ålesund, Svalbard every winter since January 1994. From the scattering ratio  $R$  and depolarization ratio  $\delta$  of the tropospheric aerosols obtained in the winters 1997-1998 and 1998-1999 with humidity over ice we examined the correlations between them. The result indicate that the layers of arctic tropospheric aerosol observed over Ny-Ålesund were classified into three types according to the depolarization ratio and humidity.

## 1. はじめに

北極対流圏では、主に中緯度から輸送された汚染物質に起因するアークティックヘイズのようなエアロゾルに関連した現象が、地球規模の環境問題として注目されるようになり、対流圏高度全域のエアロゾルの研究が重要になってきた。しかし、現在北極対流圏エアロゾル層の高度分布に関する観測データは非常に少なく、詳細はいまだ明らかでない。

極域成層圏・対流圏エアロゾルの測定のため、福岡大理学部と名古屋大STE研は共同で、1994年冬季から Ny-Ålesund (Svalbard, Norway: 78.5°N, 12°E) においてライダー観測を実施している。本研究では、1997/1998 冬季、1998/1999 冬季の観測結果に基づき、バックグランドエアロゾルよりも増大しているアークティックヘイズを含めたエアロゾル層を対象とし、その検出された層の散乱比、偏光解消度と(対氷)湿度との関係について検討を行った。

## 2. 観測装置

光源としてNd:YAGレーザーの基本波(1064nm)と第二高調波(532nm)を使用している。受信系は、レーザー光の偏光面に対して532nmの平行成分と垂直成分、1064nmのトータル成分(平行+垂直)を光電子増倍管で受信し、フォトンカウンティング法で計測した。これらの装置より、532nmに対する散乱比  $R_{532}$  と偏光解消度  $\delta_{532}$  (おおむね非球形度に対応)、1064nmに対する散乱比  $R_{1064}$ 、及び粒径分布に依存したパラメータを表すオングストローム係数  $\alpha$  を得ることが出来る。

## 3. 観測結果

図1, 2に1997/1998 冬季、1998/1999 冬季の高度2-6kmにおける湿度と散乱比・偏光解消度の分布図を示す。今回、議論の対象外である雲は除外してある。全体的に見ると相関は見られないようだが、図3など月別で見ると相関が見られた。また図4~6から、2km以上でも渦拡散平衡から予想されるよりも多量のエアロゾルが分布しているのが分かる。今回、それらを大きく3つのタイプに分類した。1つは、湿度が高く(80%以上)、散乱比、偏光解消度が共に大きい層である(図4)。98年12月にはっきりと散乱比と偏光解消度の正の相関が見られた(図3)。これは、氷粒子が主な層と考えられる。2つめは、散乱比が大きく偏光解消度が小さい層である(図5)。液滴粒子が多く存在しているためと考えられる。3つめは、湿度が低く、散乱比、偏光解消度が共に高い層である(図6)。この層は、一定高度に長時間滞留しているのが観測されたため、アークティックヘイズである可能性が考えられる。今後、観測されたエアロゾル層の輸送経路について考察を行うため、そのトラジェクトリー解析を行う予定である。

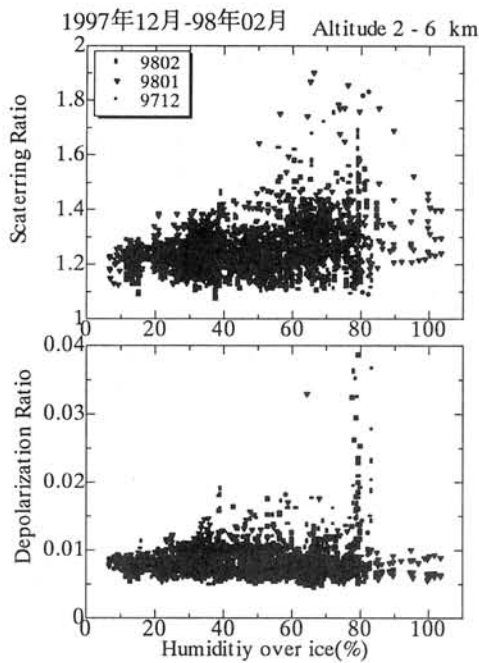


図1. 散乱比-湿度, 偏光解消度-湿度の分布図

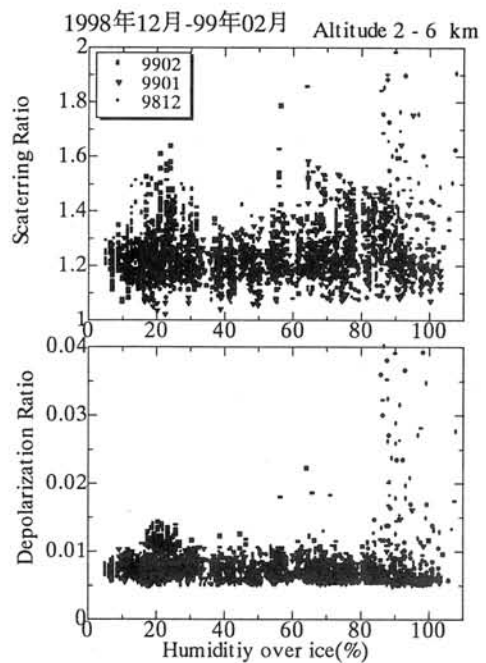


図2. 散乱比-湿度, 偏光解消度-湿度の分布図

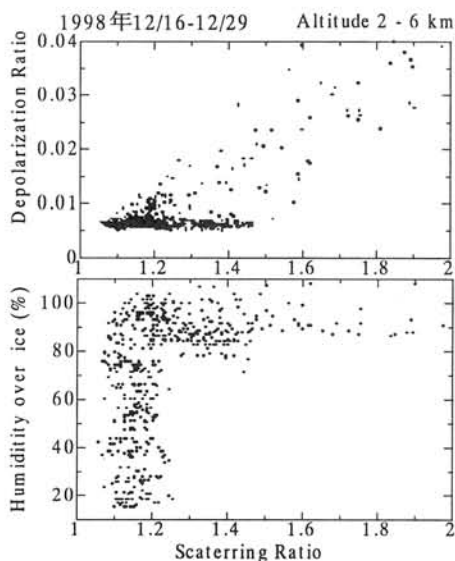


図3. 散乱比-偏光解消度, 散乱比-湿度の分布図

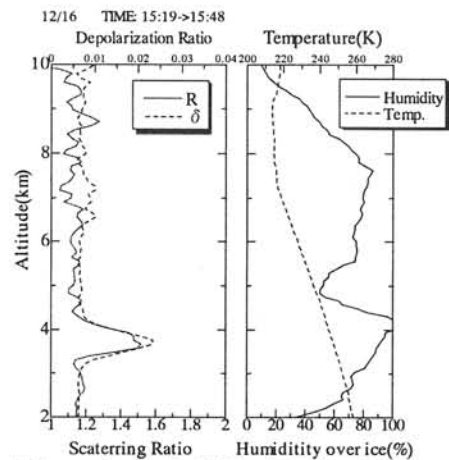


図4. 1998年12月16日の散乱比, 偏光解消度, 湿度, 気温の鉛直プロファイル

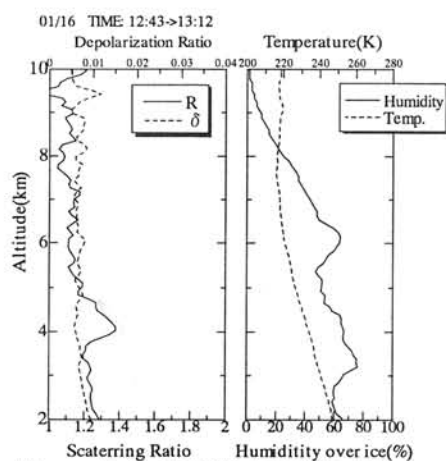


図5. 1998年1月16日の散乱比, 偏光解消度, 湿度, 気温の鉛直プロファイル

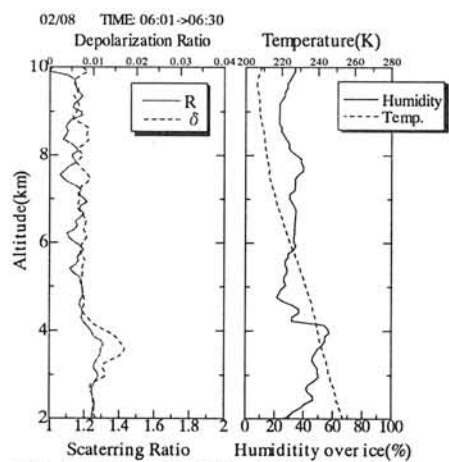


図6. 1998年2月08日の散乱比, 偏光解消度, 湿度, 気温の鉛直プロファイル

## 南極昭和基地での酸性ガス濃度の変化 —38次、39次観測の結果—

原圭一郎、長田和雄、木戸瑞佳、松永捷司、岩坂泰信(名大太陽研)

山内 恭、橋田 元(極地研)

林政彦(福岡大) 深津 徹(東海電監)

### Variations of acidic gas concentrations at Syowa station, Antarctica

K. Hara, K. Osada, M. Kido, K. Matsunaga, Y. Iwasaka (STE lab. Nagoya Univ.)

T. Yamanouchi, G. Hashida (NIPR), M. Hayashi (Fukuoka Univ.), T. Fukatsu

Continuous sampling of acidic gases were carried out at collected at Syowa station, Antarctica from February/1997 though the end of October/1998. The concentrations of species with photodecomposition —e.g. HONO— had minimum in summer. Higher concentrations of gaseous inorganic chlorines (XCl) and bromines (XBr) were observed during the low ozone episode in August/1997. Although about 10 times higher concentrations of XBr than that in 1997 were observed in August/1998, higher concentrations of XCl was not observed in 1998.

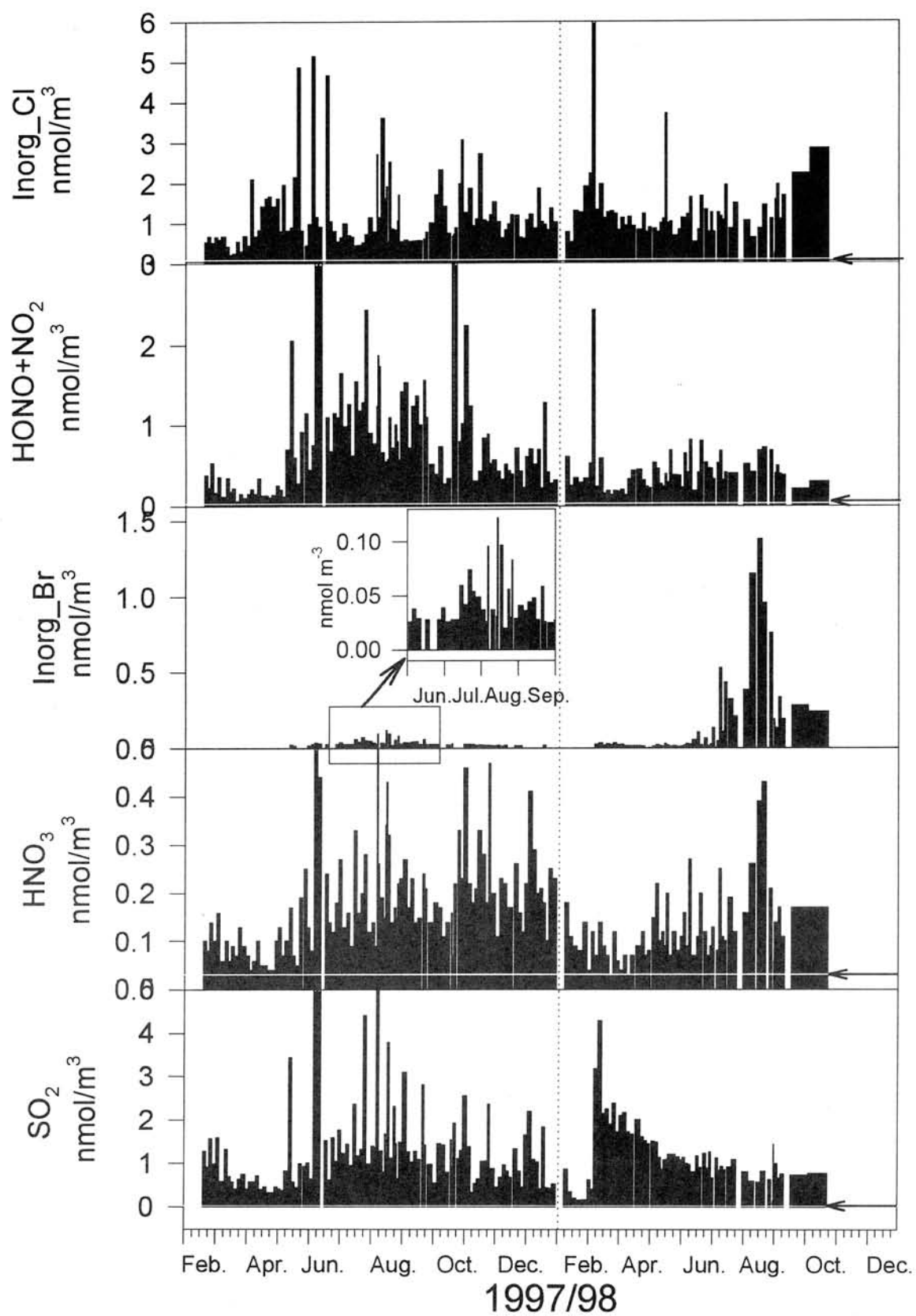
南極沿岸域の物質循環や大気エアロゾルの関連した諸過程を調べることを目的として、我々は 37 次観測隊から大気エアロゾルの個数濃度、粒子化学成分の観測を行ってきた。大気エアロゾルの生成や不均一過程に、ガス成分が大きく関係していることもあり、38 次観測隊より酸性ガス成分の観測も併せて行った。ここでは、38 次、39 次観測隊より得られた結果を中心に報告する。

酸性ガスの捕集にはアルカリ含浸ろ紙法を用いた。粒子成分はプレフィルター(PTFE; pore size 1.0  $\mu\text{m}$ )にて除去した。試料捕集は基地での活動や、天候条件に関係せず、連続的に 2~3 日かけて大気吸引し、平均捕集体積は 38 次観測では約 52  $\text{m}^3$ 、39 次観測では 73  $\text{m}^3$ である。酸性ガス成分の抽出を施した後に、イオンクロマトグラフ法により、各酸性ガス成分を定量した。

図 1 に得られた酸性ガス成分の濃度変化を示す。アルカリ含浸ろ紙は 2 段にしているが、一部の試料—特に冬季—では 2 段目への漏れも確認されたことから、各成分濃度は、1 段目と 2 段目のアルカリ含浸ろ紙上の値の和から大気未吸引試料(空試験試料)より確認したブランク値を引いた値を大気濃度へ換算した。なお、図 1 では、明らかに基地からの汚染を受けた試料についても削除せずに図示した。また、図中の白線と一で示した値は空試験より得られたブランク値を平均捕集体積を用いて大気濃度に換算した値を示している。南極では日射量変化が明瞭であることもあり、光化学的に分解する成分(HONO)は冬季に濃度が高めになる傾向が得られた。また、粒子上の  $\text{SO}_4^{2-}$  や  $\text{CH}_3\text{SO}_3^-$  は日射量が高い夏季に濃度が高くなっていたが、 $\text{SO}_4^{2-}$  の前駆体である  $\text{SO}_2$  濃度は、夏季に顕著な濃度増加が見られなかった。特に 1997 年(37 次)では、夏季にほとんど濃度増加が見られず冬季になだらかに増加していた。一方、1998 年(38 次)では 2 月に低濃度を示していたが、3 月に濃度が増加していた。また、冬季の  $\text{SO}_2$  濃度レベルは 1997 年で得られた値と同程度であった。ガス状無機塩素化合物(XCl)は両年とも同程度の濃度レベルを示していたが、ガス状無機臭素化合物(XBr)は、1998 年 8 月に 1997 年 8 月の約 10 倍まで濃度が急増していた。1997 年の XBr 濃度増加時期には明瞭な地上オゾン濃度減少が観測され、XCl 濃度も増加していたが、1998 年の濃度増加時には明瞭なオゾン減少は観測されず、XCl の濃度増加も見られなかった。1998 年 8 月に、XBr と同期するように  $\text{HNO}_3$  濃度も増加していたことを考慮すると、XBr の濃度増加だけでは顕著なオゾン消失に結びつかないことや、XBr の収支に  $\text{HNO}_3$  を含めた反応性窒素酸化物のサイクルが関連している可能性が示唆される。XCl や XBr のソースとして大気中の海塩粒子や積雪・海氷中の海塩成分からの放出が考えられているが、1998 年冬季の結果では、XCl の増加はほとんど見られなかったことは、ハロゲンサイクルの観点からも非常に興味深い点である。



## Syowa (JARE\_38 - 39) Acidic Gases



# 昭和基地上空における成層圏エアロゾルの季節変化

— 2年間にわたる光散乱計数型エアロゾルゾンデによる観測 —

木津 暢彦・岸 隆幸・安田 毅彦・吹田 俊明・堀川 和久・大河原 望 (気象庁)  
林 政彦 (福岡大), 渡辺 征春・岩坂 泰信 (名大・STE 研)  
山内 恭・橋田 元 (国立極地研究所)

## Seasonal variation of stratospheric aerosol over Syowa station

- Observations with an Optical Particle Counter during wintering of JARE 39 and JARE 38 -

N.KIZU, T.KISHI, T.YASUDA, T.FUKITA, K.HORIKAWA, N.OOGAWARA (Japan Meteorological Agency),  
M.HAYASHI (Fukuoka Univ.), M.WATANABE, Y.IWASAKA (Nagoya Univ)  
T.YAMANOUCHI, G.HASHIDA (NIPR)

Seasonal variation of the concentration and the size distribution of stratospheric aerosols were observed with an Optical Particle Counter Sonde (OPC Sonde) at Syowa Station (69.00° S 39.58° E) from Feb.1997 to Oct.1998. Ten OPC Sondes were released during this period and they observed stratospheric aerosols at different stages in annual cycle, including pre-PSCs conditions, active PSCs events, and following PSCs conditions. PSCs observed on Aug. 19 1997 and Jul. 14 1998 had different patterns of size distributions corresponding to liquid PSCs and solid PSCs, respectively. We will investigate the effect of PSCs formation on budget of stratospheric materials.

### 1. はじめに

第 38 次南極地域観測隊 (1997 年 2 月～1998 年 1 月) より、地上から下部成層圏までの粒径別エアロゾルの鉛直分布を継続的に観測するため、光散乱方式のパーティクルカウンタを搭載したエアロゾルゾンデを昭和基地 (南緯 69.00 度、東経 39.58 度) で飛揚している。38 次隊及び 39 次隊 (1998 年 2 月～1999 年 1 月) の 2 年間で計 10 回のエアロゾルゾンデ観測を行う事が出来たので報告する。なお、昭和基地におけるエアロゾルゾンデ観測は 40 次隊 (現在越冬中) により現在も続けられており、42 次隊以降も継続する予定である。

### 2. 観測日及びデータ

観測日を表 1 に示す。成層圏エアロゾルの季節変化及び PSCs による物質輸送を明らかにするため、観測は PSCs が観測される前の時期、PSCs が観測される時期、PSCs が現れなくなった時期及び夏季に行っている。

飛揚年月日	分類	飛揚年月日	分類
1997年 4月 2日	A	1998年 1月 28日	D
5月 27日	B	4月 30日	A
7月 3日	B	7月 14日	B
8月 19日	B	9月 24日	C
9月 22日	C	10月 6日	C

A: PSCs が観測される前の時期 C: PSCs が観測されなくなった時期  
B: PSCs が観測される時期 D: 夏季

表 1: エアロゾルゾンデ飛揚日 ('97年2月～'98年10月)

なお、観測では、約 20 秒毎に 0.15  $\mu\text{m}$ , 0.25  $\mu\text{m}$ , 0.4  $\mu\text{m}$ , 0.6  $\mu\text{m}$ , 1.8  $\mu\text{m}$  以上の各粒径半径を持つ粒子数、流量、気温、湿度、気圧、風向、風速のデータが取得されている。

### 3. 観測結果

PSCs と考えられる顕著な粒子数の増大は冬季である 1997 年 8 月 19 日、1998 年 7 月 14 日 (図 1) に観測された。林他 (1998) による北極・ニーオーレスンにおいて観測された PSCs の粒径分布パターンと比較すると、1997 年 8 月 19 日の PSCs は 0.15~0.6  $\mu\text{m}$  の粒子濃度が増大しており、液相が卓越した PSCs の粒径分布の特徴を示している。一方、1998 年 7 月 14 日に見られた PSCs において、30hPa よりも下層では 1.8  $\mu\text{m}$  以上の粒径半径を持つ粒子が多く存在し、固相粒子 (NAT あるいは水) が卓越した PSCs の粒径分布パターンを示していた。なお、7 月 14 日にみられた 30hPa よりも上層の粒子濃度が増大する層の粒径分布は半径 0.15 ~ 0.6  $\mu\text{m}$  の粒径での濃度の増大と半径 1.8  $\mu\text{m}$  以上の粒子濃度の増大を示しており液滴及び固相粒子が混在した PSCs であった可能性が考えられる。

1997 年 2 月～1998 年 10 月までの空気塊に対する粒子の重量混合比の変化を図 2 に示す。2 年間を通じてみられる冬季の混合比の増大は PSCs によるものである。高度 10km ~ 20km においては、PSCs が観測

される前後で顕著な混合比の変化はないが、高度 20km ~ 25km では 9 月に極端な混合比の減少が認められた。

発表ではバックグラウンドエアロゾルの降下に対する PSCs の参与などについても議論を行う。

#### 4. まとめ

38 次隊及び 39 次隊の観測により成層圏エアロゾルの季節変化や PSCs 発現前の成層圏エアロゾルのバックグラウンド濃度が明らかになってきた。しかし、観測回数の制限により PSCs の発生から消滅に至る機構や成層圏物質の輸送への寄与などの定量的見積もりまでには至っていない。今後は年間を通じての観測を継続すると共に、PSCs の時期における高い頻度の観測を行う事で南極域成層圏エアロゾルの輸送機構が明らかにされると考えられる。

#### Reference

M.Hayashi, Y.Iwasaka, M.Watanabe et al.  
1998 : Size and Number Concentration of Liquid PSCs: Balloon-Borne Measurements at Ny-Ålesund, Norway in Winter of 1994/95.  
J.Meteorol.Soc.Japan,76,549-560.

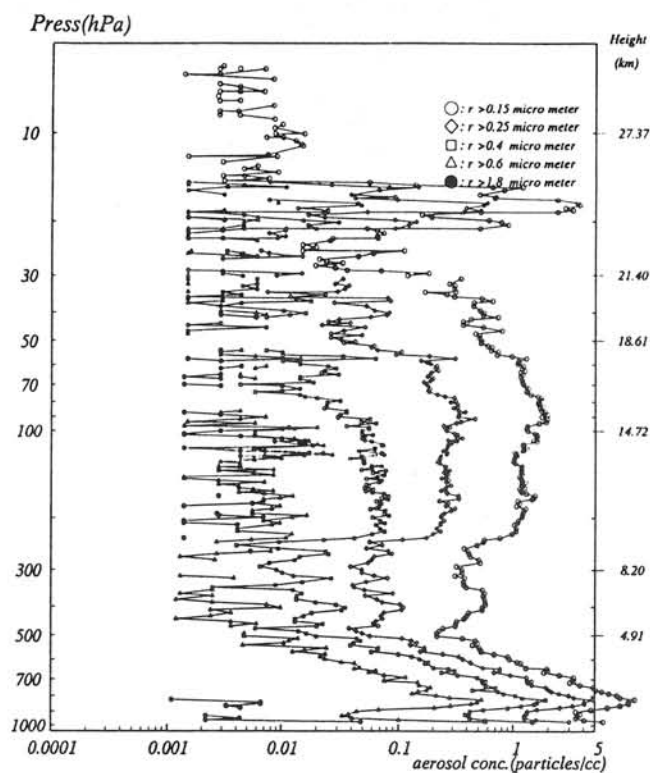


図 1 : 1998 年 7 月 14 日の  
粒径別エアロゾル濃度

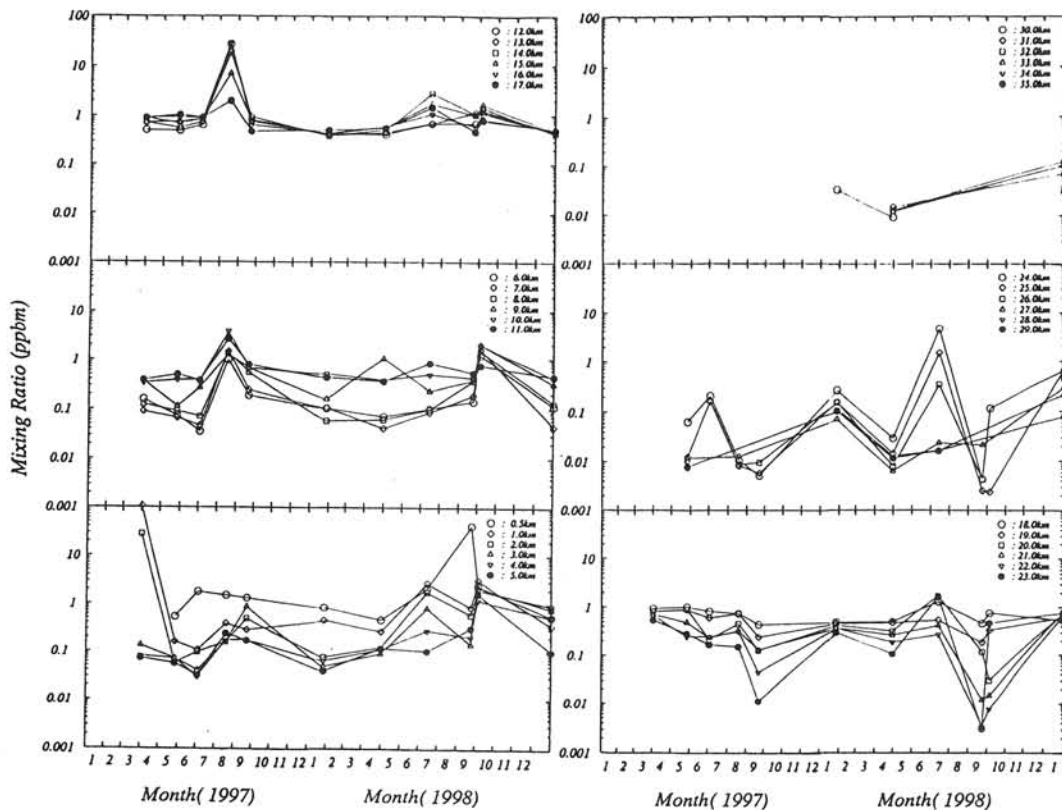


図 2 : MASS MIXING RATIO ( $r=0.15 \sim 1.8 \mu m$ ) の変化 ('97 年 4 月 ~ '98 年 10 月)  
※ 粒子構成物質の密度は  $1.5g/cm^3$  を仮定

## ドームふじ基地の大気エアロゾルに含まれる水溶性イオン濃度 昭和基地との同時観測

○長田和雄<sup>1</sup>・林政彦<sup>2</sup>・原圭一郎<sup>1</sup>・木戸瑞佳<sup>1</sup>・山内恭<sup>3</sup>・橋田 元<sup>3</sup>・深津徹<sup>4</sup>・宇井啓高<sup>5</sup>・  
松永捷司<sup>1</sup>・岩坂泰信<sup>1</sup>

1:名古屋大学 太陽研、2:福岡大理、3:極地研、4:東海電監、5:富山大教育

Water soluble ionic constituents in aerosol particles obtained from  
Dome Fuji Station during 1997

○K. Osada<sup>1</sup>, M. Hayashi<sup>2</sup>, K. Hara<sup>1</sup>, M. Kido<sup>1</sup>, T. Yamanouchi<sup>3</sup>, G. Hashida<sup>3</sup>, T. Fukatsu<sup>4</sup>,  
H. Ui<sup>5</sup>, K. Matsunaga<sup>1</sup>, Y. Iwasaka<sup>1</sup>

1: Nagoya University, Solar-Terrestrial Environment Laboratory

2: Fukuoka University, 3: National Institute of Polar Research, 5: Toyama University

This study presents seasonal variations in ionic concentrations of size-separated aerosols obtained from Dome Fuji station in 1997. Concentrations of  $\text{nssSO}_4^{2-}$  showed a distinct summer maximum. On the contrary,  $\text{CH}_3\text{SO}_3^-$  concentrations showed a maximum in fall season only. Concentration levels of sea-salt components were sporadically high during winter. Sea-salt particles were depleted for coarse fraction.  $\text{NO}_3^-$  and  $\text{C}_2\text{O}_4^{2-}$  concentrations showed broad maxima during late winter to spring. A comparison of aerosol chemistry between Dome Fuji station and Syowa station in 1997 will be presented.

南極内陸部での物質循環、特に粒子態として輸送されてくる化学物質の起源や変質過程を調べるために、大気中の粒子態物質の数濃度や化学成分濃度を1997年2月から1998年1月にかけて南極・ドームふじ基地で観測した。昨年度、昭和基地での解析結果を本シンポジウムで報告しており、本発表ではドームふじ基地での季節変化や粒径分布と比較しつつ、南極の大気エアロゾル粒子の空間分布を考察する。

本研究で用いたサンプリングシステムは、これまでと同様に2段のカスケードインパクターで大気エアロゾルを粒径別に捕集し(1997年2月8日から1998年1月13日まで)、水溶性イオン濃度をイオンクロマトグラフ法で測定した。大気エアロゾルは、3ないし4日間かけて採取し、20℃1気圧に換算して約50から100 $\text{m}^3$ 程度の大気を吸引した。

図1に結果を示す。各成分の総濃度(各粒径区分の和)の季節変化は、これまでに報告した昭和基地での季節変化と似ている成分が多い。しかし、 $\text{CH}_3\text{SO}_3^-$ の場合には、春から夏にかけての濃度上昇が見られなかった。ドーム基地での総濃度を昭和基地での総濃度と較べると、秋の $\text{CH}_3\text{SO}_3^-$ と $\text{NH}_4^+$ ピークではドーム基地で約1/2なのに対し、 $\text{nssSO}_4^{2-}$ では同程度であった。一方海塩成分ではドーム基地で1~2桁濃度が低かった。これらの濃度は、既に報告されている南極点やタスマニア近辺上空での大気中濃度と同程度であった。1997年の昭和基地では、4月から6月にかけて海塩濃度が著しく上昇していたが、ドーム基地では5月と7月に高濃度になっていた。ドーム基地での粒径分布は、海塩成分を含むすべての成分で微細粒子が総量の大部分を占めていた。 $\text{NO}_3^-$ と $\text{C}_2\text{O}_4^{2-}$ 濃度は、昭和基地と同様に晩冬から春季にかけて高く、粗大粒子中にも存在していた。発表時には、沿岸とドーム地域における総濃度や粒径分布の比較から考察した南極大気エアロゾルの成因や変質についてもふれたい。

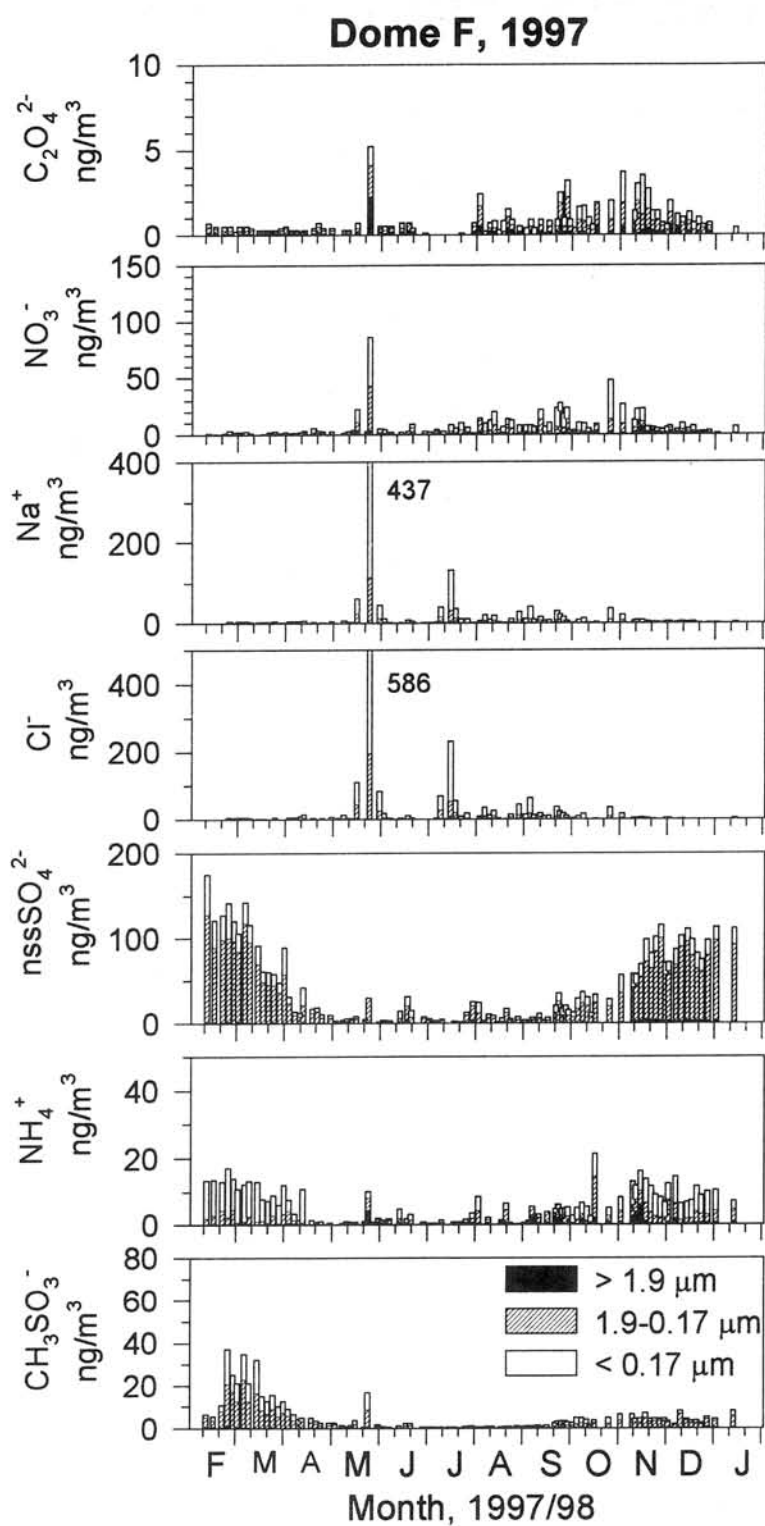


図-1 南極・ドームふじ基地での大気エアロゾル中の水溶性イオン濃度の季節変化。

\* 試料採取にご協力いただいた第38次南極地域観測隊の方々に感謝いたします



## ドームふじの大気エアロゾルの濃度・粒径分布の変動 —— 昭和基地との比較観測 ——

林 政彦\*・松本易典（福岡大学理学部）  
長田和雄・岩坂泰信・長谷正博・中田滉（名古屋大学 STE 研）  
田阪茂樹（岐阜大教育学部）・飯田孝夫（名古屋大工学部）  
平沢尚彦・山内恭（極地研）

### Variation of surface aerosol concentrations at Dome F and Syowa Station

M. Hayashi, Y. Matsumoto (Fukuoka Univ.), K. Osada, Y. Iwasaka, M. Nagatani, H. Nakada (Nagoya Univ.), S. Tasaka (Gifu Univ.), T. Iida (Nagoya Univ.), N. Hirasawa, T. Yamanouchi (NIPR)

Surface aerosol concentration at Dome F and Syowa Station were observed from February 1997 to January 1998 with optical particle counters. Concentrations of Condensation Nuclei and Radon Daughters were also observed. Variations in both station show similar feature as following. Concentrations of small particles (0.07-0.2  $\mu\text{m}$ ) is higher in summer than in winter and sudden enhancement of concentration is observed frequently in winter. Some enhancement of aerosol concentration were occur simultaneously at Dome F and Syowa Station.

#### 1. はじめに

東南極高原部のドームの一つドームふじ観測拠点 (77° S, 39° E, 3810 m a.s.l.) および昭和基地 (69° S, 39° E) 昭和基地において、地上エアロゾルの比較観測を行った。これは、南極観測事業第5期5カ年計画「南極大気・物質循環観測」の一環として 1997 年2月より 1998 年1月までおこなわれた。観測の概要については、昨年の本シンポで報告している。本講演では、2つの観測点におけるエアロゾルの濃度・粒径分布の季節変動の特徴について報告する。

#### 2. 観測

##### a. 観測装置

光散乱粒子計数装置

TD100 (直径  $d > 0.3, 0.5, 1.0, 2.0, 3.0, 5.0 \mu\text{m}$ )

TD500S ( $d > 0.07, 0.1, 0.15, 0.2, 0.25, 0.3 \mu\text{m}$ )

CN counter

Radon counter (ドームふじのみ)

##### b. 試料大気の導入

昨年シンポ発表を参照

両基地ともに、屋内に吸引後、分岐し、計測を行っている。試料大気は、計測時には、室温 (10~20°C) 近くまで加熱されている。

#### 3. 観測結果

以下に、特徴的な変動について記述する。

##### 1) 小粒子濃度 (直径 0.07~0.15 $\mu\text{m}$ )

ドームふじ、昭和ともに冬季に濃度が低くな

る季節変動を示した。夏季の濃度は、両基地ともに 0.1  $\mu\text{m}$  以上の粒径で数 10 個/ $\text{cm}^3$  程度であり、ドームふじの方が大気に対する混合比が大きかった。一方、冬季は両地点ともに変動が大きかった。

##### 2) 大粒子濃度 (直径 0.3~5 $\mu\text{m}$ )

両基地ともに夏季は比較的安定した濃度であった。ドームでの 0.3  $\mu\text{m}$  以上の粒子濃度は、半径 0.15 ミクロンで 0.1 個/ $\text{cm}^3$  程度であり、昭和基地の数分の1程度の濃度であった。ドームふじ・昭和基地の冬季の濃度変動は、それぞれ  $10^{-2}$  ~ 数個/ $\text{cm}^3$  1 ~ 数 10 個/ $\text{cm}^3$  であった。

##### 3) エアロゾル急増現象

冬季を中心として、数日間エアロゾル濃度が一時的に高くなる現象が、両基地で見られた。この急増現象は、両基地でほぼ同期して発現することがあった。また、この急増が、ラドン濃度の急増に同期することもあった。

当日は、エアロゾル急増時の気象条件等もあわせて報告し、エアロゾル輸送機構やエアロゾル収支にたいする間欠的輸送の寄与などについて検討する。

謝辞：厳しい環境下での観測を成功させるために惜しみない協力をいただいた、第38次南極地域観測隊の皆様に感謝いたします。

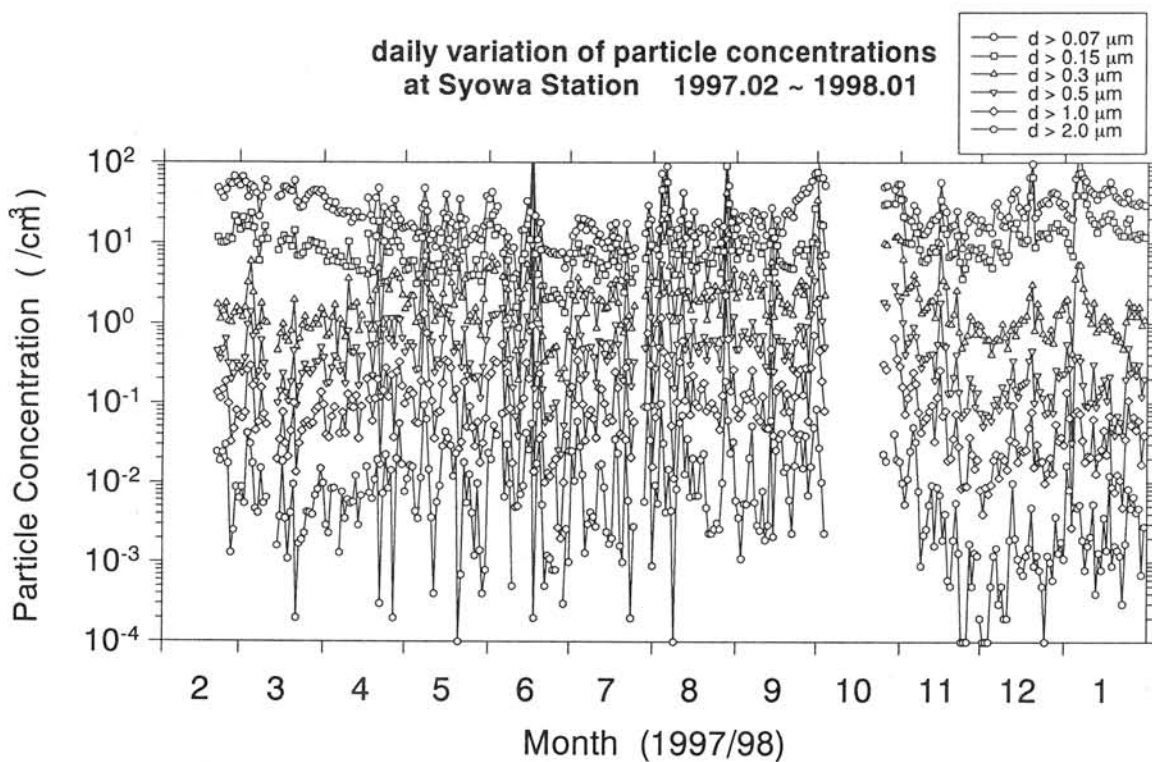
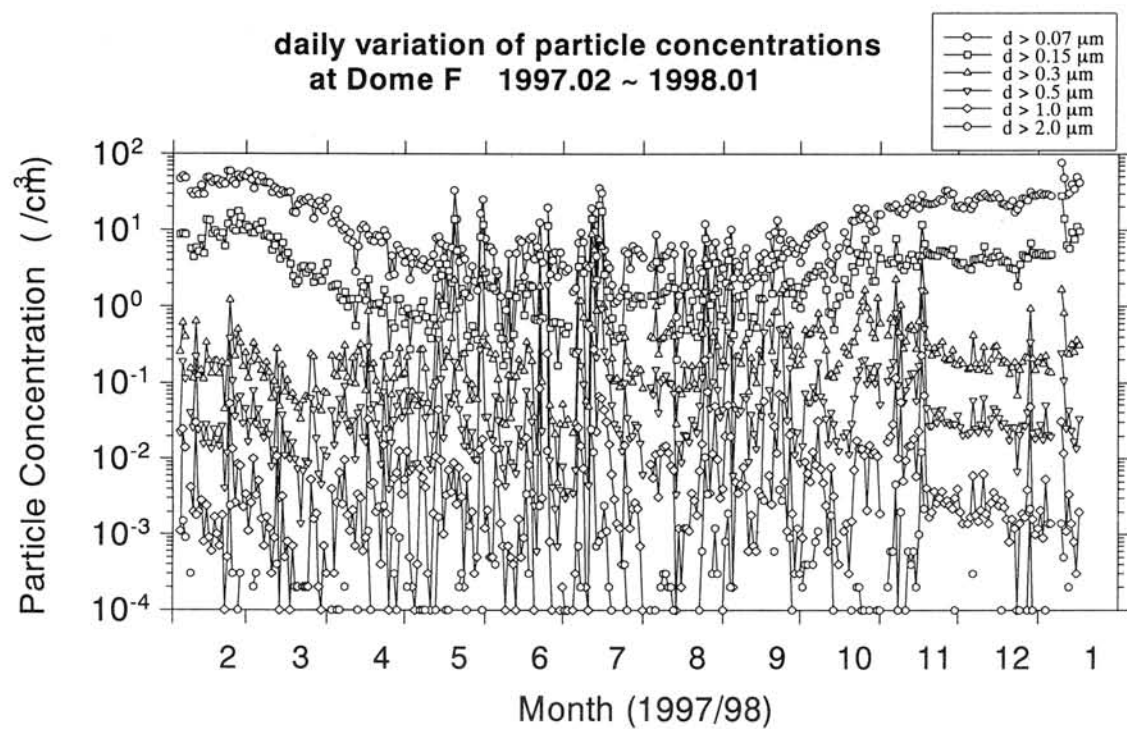


Figure 1 Daily variation of surface aerosol concentration observed at Dome F (upper panel) and Syowa Station (lower panel) from February 1997 to January 1998 with optical particle counter

## 南極オゾンホールに伴うオゾン減少の季節的な開始時期とその減少速度

忠鉢 繁 (気象研)

### On the Onset time of Antarctic Ozone depletion and the rate of ozone decrease

S. Chubachi (Meteorological Research Institute)

The Onset of the Antarctic Ozone hole and the rate of ozone decrease are discussed by the use of the data reported on the Ozone data for the world. The analyses shows that the onset of total ozone decrease at Syowa(69S) occur at about 210-220 Julian days (late July or early August), which is about 10-20 days earlier than that at South Pole. The rate of ozone decrease becomes larger year by year. The rates of decrease on 70 hPa in 1990s are 2 to 3 times larger than that of early 1980s, which shows that atmospheric chlorine is increasing.

#### 1. はじめに

南極オゾンホールは、年々その規模を拡大しており、研究が急がれている。しかし、観測データの不足のために、南極オゾンホール発生期の極夜のオゾン全量の季節変化及び経年変化が未だ未解明である。

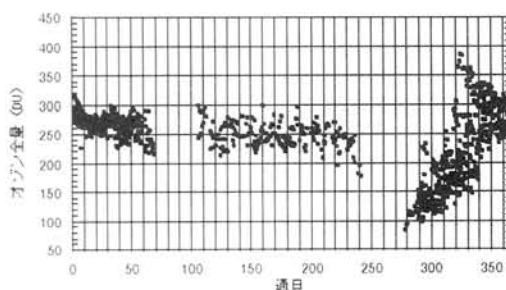
南極点及び昭和基地の、オゾンホール発生に伴うオゾン全量の減少が始まる季節的な時期を示す。さらに、オゾンゾンデによる観測結果を用い、1990年代のオゾン層の破壊速度が1980年代の2-3倍に達していることを示す。

#### 2. 季節的な南極オゾンホールの始まり

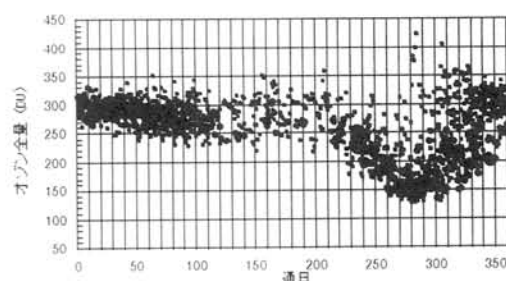
第1図に南極点における日々のオゾン全量の1991-98の平均を示す。第1図から、南極オゾンホール発生によるオゾン全量の減少の季節的な開始は230通日付近から始まっていることがわかる。第2図に昭和基地の1991-98年の日々のオゾン全量を示す。オゾン全量の減少は昭和基地付近では210~220通日付近から始まっている。昭和基地では280通日付近でオゾン全量の季節的な減少は停止する。

#### 3. オゾン破壊の時定数

昭和基地のオゾンゾンデ観測の結果から、オゾン破壊の時定数を計算した。70 hPaの9月の時定数は1990-98 1980-85の2~3分の1 (破壊速度は約2~3倍) となっている。



第1図 南極点における日々のオゾン全量の1991-98年の日々のオゾン全量。



第2図 昭和基地の1991-98年の日々のオゾン全量

## ドームふじ上空の成層圏エアロゾルの季節変動 —— エアロゾル・PSCsの輸送 ——

林政彦・村山健太郎、白石浩一、藤原玄夫（福岡大学理学部）

渡辺征春・柴田隆・足立宏・酒井哲・田村耕一・長谷正博・中田滉・岩坂泰信（名古屋大学 STE 研）、  
平沢尚彦・山内恭（極地研）

### Seasonal variation of the stratospheric aerosols over Dome Fuji

M.Hayashi, K.Murayama, K.Shiraishi, M.Fujiwara (Fukuoka Univ.),

M.Watanabe, T.Shibata, H.Adachi, T.Sakai, K.Tamura, M.Nagatani, H.Nakada, Y.Iwasaka (Nagoya Univ.)

N.Hirasawa, T.Yamanouchi (NIPR)

Stratospheric aerosols over Dome F were observed with an Optical particle Counter sonde (OPC) and a lidar from February to December 1997. Variation of vertical structure of stratospheric aerosols show following features. Thickness of aerosol layer decrease with time. Non-spherical particles with large size, maybe larger than 1.8 $\mu$ m in radius, exist at bottom region of stratosphere. Size distribution pattern of background stratospheric aerosols after disappearance of PSCs were different from those before appearance of PSCs.

#### 1. はじめに

南極域の成層圏は、極夜期に放射冷却により非常に低温となり、長期間氷の霜点以下の気温になることが知られており、極成層圏雲（PSCs）と呼ばれる様々な雲が出現する。PSCsには、様々なタイプがあり、中でも氷粒子のPSCsは重力沈降による物質輸送に関与していると考えられている。しかし、PSCsは異なったタイプのものが相互に関与しながら発達していると考えられており、物質輸送に対する寄与を理解するためには、年間を通じてのより詳細な観測が求められていた。また、低温下により圏界面が不明確になり、成層圏・対流圏間の物質交換が夏季と異なった機構で行われている可能性がある。

これらのエアロゾルの変動を通じた物質輸送機構を理解するために、東南極大陸高原部のドームふじ観測拠点（79°19' S, 39°42' E, 3810 m a. s. l.）において、気球搭載光散乱粒子計数装置（OPC）とライダーによる成層圏エアロゾルの通年観測を行った。

#### 2. 観測

ゾンデ 2/24, 3/31, 5/1, 5/28, 6/15, 6/28,  
7/23, 8/24, 9/30, 10/30, 12/2 に観測  
計測粒径は、Figure 1 を参照

ライダー 1997 年 4 月より 12 月 31 日

装置に関する詳細は、今年のシンポ予稿参照

#### 3. 観測結果

OPCゾンデによる観測結果の一部を Figure 1 に示す。ライダーの観測結果等も含め、特徴は次のようであった。

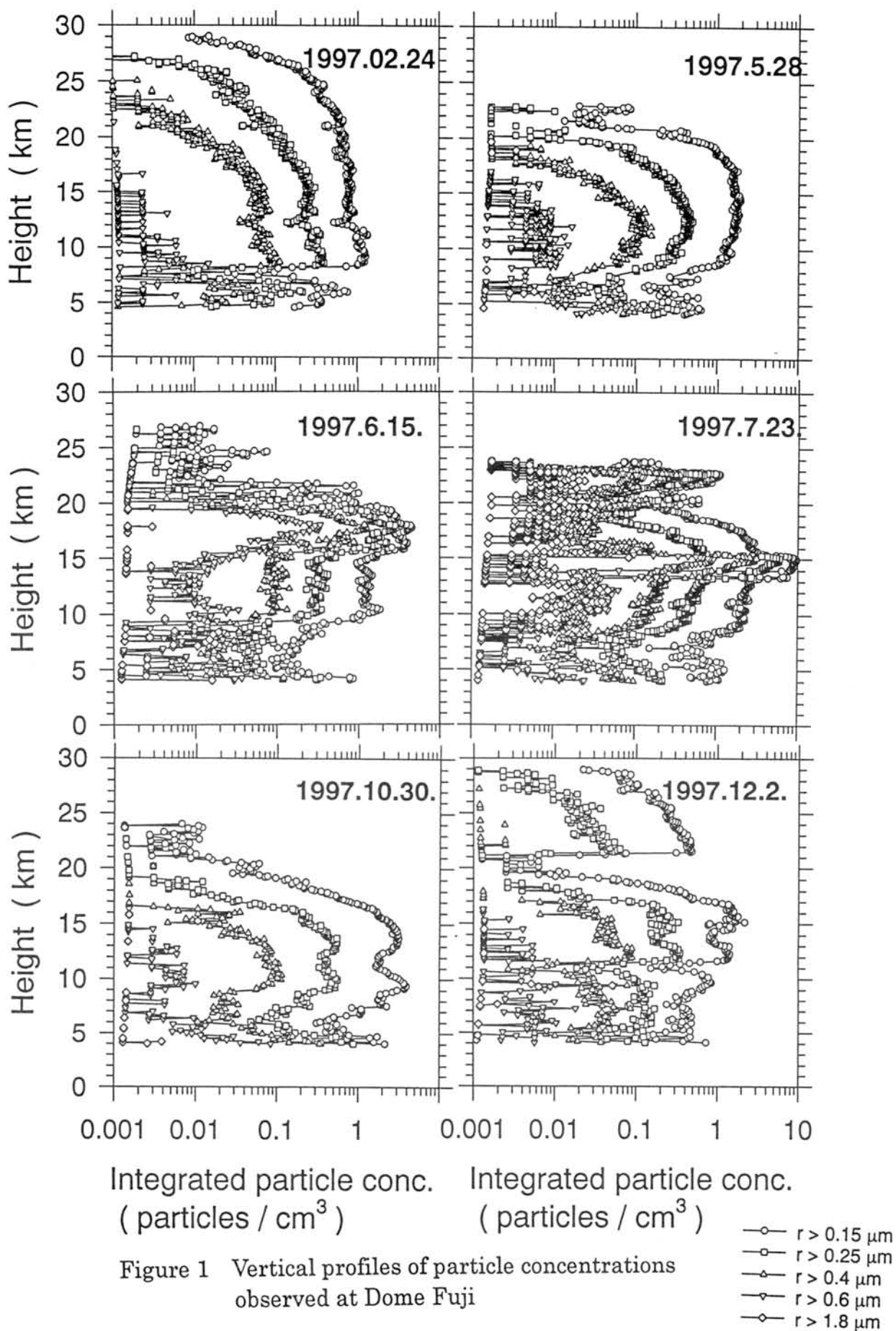
1) 成層圏エアロゾル層の上端高度は、季節の進行とともに下降し、日射が回復して高温化した 10 月に最低高度を記録した。12/2 には、上層に極渦の外側のエアロゾル層、下層に極渦の内部の沈降したエアロゾル層が存在する 2 層構造を示した。

2) ライダーで PSCs が観測されたのは、5/28 が初めてであり、その後、10 月中旬まで、毎日 PSCs が観測された。7 月以降の PSCs は概ね偏光解消度が高く、偏光解消度が低い PSCs は出現頻度が低かった。

3) 半径 1.8 ミクロン以上の巨大粒子は、既存成層圏エアロゾル層の底部にまで存在し、それは、ライダーによって観測された偏光解消度の高い領域に対応していた。

4) 圏界面が不明確なとき、OPC で観測された成層圏エアロゾル層の下端は、8km 付近までさがり、温度減率より決定される圏界面高度より低くなっていた。

5) PSCs 消滅後の既存エアロゾル層の粒径分布は、PSCs 出現前の粒径分布と異なっていた。特に、0.15 ミクロン以上の粒径の粒子濃度が高かった。





# NOAA衛星AVHRR雲検知手法のドームふじでの検証

山内恭・平沢尚彦（極地研）・門崎学（高知大）

## Evaluation of AVHRR Cloud Detection at Dome Fuji Station, Antarctica

T. Yamanouchi, N. Hirasawa (NIPR) and G. Kadosaki (Kochi Univ.)

Polar cloud detection algorithm which used the scatter diagram of brightness temperature and brightness temperature difference of split window channel was evaluated at Dome Fuji Station, Antarctica. Among the data of June 1997, most of cloudy scene except a few was effectively detectable.

**はじめに：** 衛星によるパッシブ可視・赤外放射測定による雲導出アルゴリズムについては、多くの試みがなされているが、極域に適応できる完璧な手法は得られていない。高度な画像処理の方法も試みられているが（Muramoto et al., 1998; Lubin et al., 1998）、可視光の使えない極夜期間にも可能で簡便な方法は赤外輝度温度と温度差の分散図から識別する方法（Yamanouchi et al., 1987; Yamanouchi and Kawaguchi, 1992）しか見当たらない。この手法が実際にどの程度有効であるか、最も困難な領域である南極内陸のドームふじ観測拠点での地上からの雲観測と比較して、NOAA衛星AVHRRデータによる雲導出の検証を行った。

**衛星データ：** 新しく第38次観測隊より昭和基地において再開されたNOAAデータ受信（Sea Space 社製装置、情報科学センターの尽力により導入）で取得された1997年のデータを使用。ドームふじ観測拠点近傍250 km四方の領域を切り出し、2 km毎のピクセルを4 x 4個平均した。

**地上観測データ：** 1997年に越冬した第38次観測隊による地上気象観測（雲量は目視観測）や南極大気・物質循環観測の高層ゾンデ、地上放射観測等のデータを使用した。

**結果：** Fig. 1にch 4輝度温度（T4）とch 4と5の輝度温度差（ $\Delta T$ ）の分散図を示した。6月の例で、ドームふじが快晴であった3日間と雲量10ないし10に近い曇天であった6日間のものである。晴天のものは $\Delta T$ が $\pm 0.7$ ℃程度の幅に収

まっているとともに、T4が $-60$ ないし $65$ から $-85$ ℃と極めて低い値を含んでおり、地表面がいかに冷えていたかが分かる。それに対し、曇天域を含むものは（全域曇天の保証はない） $\Delta T$ が $0$ から $6$ ℃と大きい値まで分布し、晴天のピクセルとはほぼ明瞭に分離できそうである。ちなみに、T4は $-50$ から $-70$ ℃付近までと、雲頂温度は晴天の地表面温度よりかなり高いことが分かる。「雲のアーチ」のどの部分を構成しているかは不明で、雲の下の地表面温度は推定できない。地上から見て曇りとされたもので $\Delta T$ が $0$ ℃付近に分布する事例が数例あったが、それ以外は、この図の如く比較的明瞭に雲が検知できることが確認された。違いの原因を究明中である。

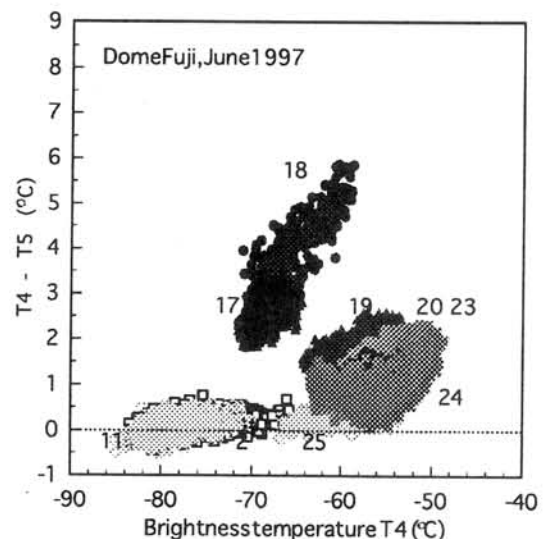


Fig. 1: Comparison of scatter diagram of T4 against T4 - T5, Dome Fuji Station, June 1997.

## 85GHz マイクロ波輝度温度画像からの南極の地上気温推定

佐々木 順一<sup>†</sup> 畑中 雅彦<sup>†</sup> 和田 誠<sup>††</sup> 平沢 尚彦<sup>††</sup>  
<sup>†</sup>室蘭工業大学 <sup>††</sup>国立極地研究所

## Evaluation of air temperature in Antarctica from 85GHz microwave brightness temperature

J.Sasaki\*, M.Hatanaka\*, M.Wada\*\* and N.Hirasawa\*\*

\* Muroran Institute of Technology \*\* National Institute of Polar Research

At Vostok Station, Antarctica, 85 GHz microwave brightness temperature observed from DMSP satellite showed very good correlation with air temperature on the ground from December 1991 to May 1994. In this fact, we expected that air temperature distribution on the ground in Antarctica may be evaluated using the DMSP brightness temperature image.

In this paper, we summarize our procedure how to evaluate the air temperature distribution, and show some results making a comparison between a time series of our evaluated temperature data and that of observed ones at Dome-C Station and Syowa Station in 1993.

## 1 はじめに

我々は、マイクロ波リモートセンシング衛星[1]の一つである DMSP(Defense Meteorological Satellite Program)によって観測される輝度温度画像データを利用して、南極大陸全体の地上気温分布を推定する方法について研究を行っている。これまでの基礎的な研究[2]において、1年中氷雪に覆われているポストーク基地における輝度温度  $T_B$  と地上気温  $T_a$  の変化は同様の推移パターンを示し、非常に強い相関があることが判明している。今回は、この関係を利用し、日々変化する輝度温度データから地上気温を推定することを目的とする。

## 2 地上気温分布推定の原理

マイクロ波放射における輝度温度  $T_B$  と物体の温度  $T$  との比  $e = T_B / T$  は放射率 (emissivity) とよばれ、対象物の物質的性質と放射の周波数などの測定条件によって変化する。ここで氷雪面が地表の空気と熱平衡な状態にあると仮定し、物体の温度  $T$  を地上気温  $T_a$  と置き換えたときの放射率を近似的放射率  $e'$  と定義する ( $e' = T_B / T_a \cdots (1)$ )。この関係を利用することによって、近似的放射率分布を求めることができれば、DMSP 衛星で毎日観測されている 85GHz 帯の輝度温度データから、地上観測気温分布を推定することができる。

## 3 近似的放射率分布を求める方法と手順

近似的放射率分布を求めるためには、前述の通り、地上気温分布と輝度温度分布が必要だが、南極大陸全体にわたる詳細な地上気温分布は存在しない。そこで、以下に示す手順で近似的放射率を求めた。

## 3.1 地上気温分布モデルの作成

収集できた各観測点の気温データを複数年にわたって平均化した月間平均気温データから、画像補間処理を行うことによって月毎の地上気温分布モデルを作成する。これまでの我々の研究で、既に地上気温分布モデルを作成してあるため、具体的な方法論等は参考文献[3]に譲る。ただし、空間分解能を輝度温度画像と一致するように作成する必要がある。

## 3.2 輝度温度分布モデルの作成

雲や降雪などの短期変動要因を除去するために、85GHz 帯域の輝度温度画像を月毎に平均化処理し、これを輝度温度分布モデルとする。輝度温度データとして、コロラド大学 NSIDC (National Snow and Ice Data Center) から無償配布されているマイクロ波輝度温度画像データのうち 1991 年から 1997 年までの輝度温度画像データを用い、複数年にわたって各月ごとに平均化処理することによって作成した。

## 3.3 近似的放射率分布モデルの作成

(1)式により、輝度温度分布モデルと、その空間分解能に一致させて作成した地上気温分布モデルの比をとることによって近似的放射率モデルが得られる。3.1 節で求めた地上気温分布モデルと 3.2 節で求めた輝度温度分布モデルから、各月ごとに近似的放射率分布を作成した。

## 4 推定気温の検証

近似的放射率分布を用いた気温推定を検証するために、今回は、1993 年 1 年間について地上観測気温および 3.3 節で求めた近似的放射率から(1)式によって算出される推定気温の時系列変化を比較した。

沿岸部に存在する昭和基地および内陸部に存在するドームC基地について、観測気温と85GHz帯の輝度温度から推定される気温の時系列変化を求めたところ、85GHz帯の水平偏波・垂直偏波共に非常によく似た結果が得られたため、ここではそれぞれの基地について水平偏波の結果のみを示すこととする(図1, 図2)。また、それぞれの基地における近似的放射率の月変化を同時に図1, 図2に示す。

図1より、ドームC基地については、継続的に気温が下がる1~4月、および継続的に気温が上昇する10~12月に観測気温より若干高く推定される傾向があるが、全体として同様な推移をしており、特に6~10月は非常に良好な結果が得られているといえる。近似的放射率の変動は1年を通じて小さく、これは、ドームC基地のある場所が1年中厚い冰雪で覆われている1つの証明であるといえる。一方、昭和基地に関しては、近似的放射率の変動が激しい12月~4月は推移の共通点が殆ど見られないほど推定気温と観測気温のばらつきが大きい。近似的放射率の変動が比較的小さい5~11月は推定気温と観測気温のばらつきが目立つものの推移の傾向がにっており、比較的良好な結果が得られている。これは、85GHz帯の輝度温度画像の空間分解能が12.5km×12.5kmと粗いことから、沿岸部に位置している昭和基地では、雪氷・地面・海水からの放射が季節によって割合を変えながら混在している。よって、地表が冰雪で覆われる冬には比較的良好な結果が得られたと考えられる。

## 5 まとめ

今回は、輝度温度からの気温の日変化推定について検証した。1年中厚い冰雪に覆われている内陸部に関しては、日単位での気温推定ができる可能性が高く、特に冬の間は精度良く得られる。沿岸部については推定気温と観測気温にの差が大きい日が多くみられたため、信頼性について

問題があるものの、冬の間であれば日単位での気温推定ができる可能性がある。

## 参考文献

- [1] 古溝洋治, 岡本謙一, 増子治信: 「人工衛星によるマイクロ波リモートセンシング」, pp.29-32, 社団法人電気情報通信学会 (1996)
- [2] 志賀太生, 畑中雅彦, 和田誠, 他: 「南極域における輝度温度画像データの解析」, pp.13-20, 開発技報 第40号 (1998)
- [3] 佐々木順一, 畑中雅彦, 和田誠, 他: 「クリッピング補間を用いて推定した南極大陸の気温分布図(I)」, 開発技報 第41号 (1999) に掲載予定

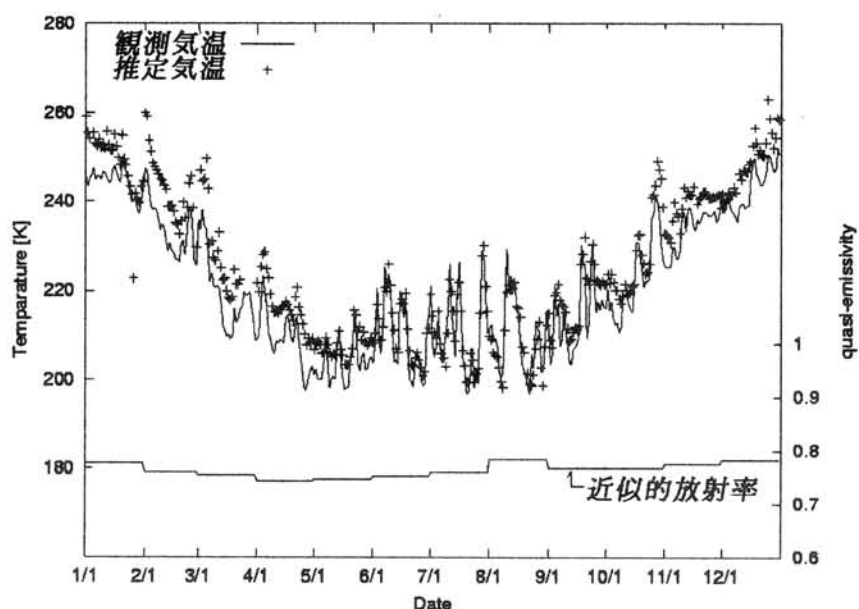


図1 観測気温と推定気温、近似的放射率(ドームC基地、水平偏波)

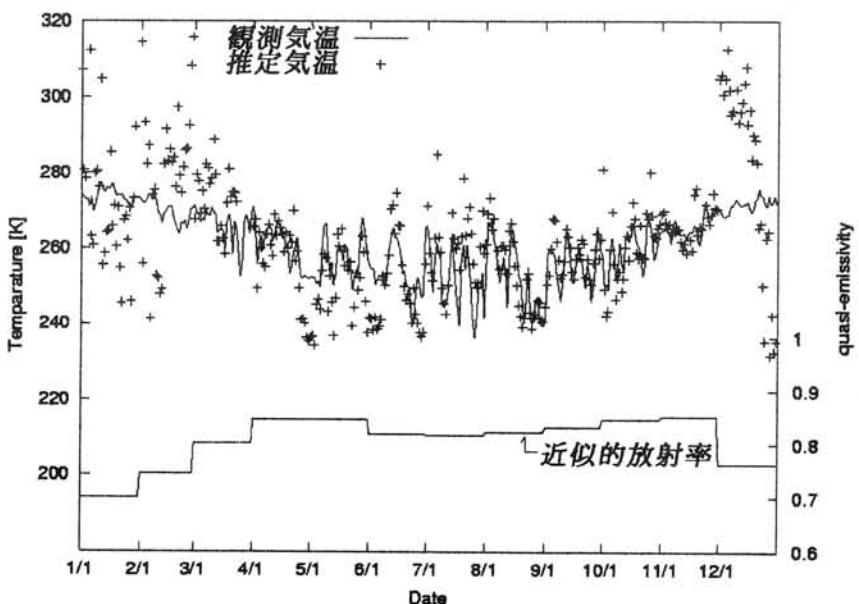


図2 観測気温と推定気温、近似的放射率(昭和基地、水平偏波)

## TRMM 降雨レーダで観測されたヒマラヤの地表面散乱特性

前野 英生・花土 弘・松岡 建志（通総研）

The characteristics of radar backscattering from the land surface in the Himalayas detected by Precipitation Radar (PR) of Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM)

H. Maeno, H. Hanado and T. Matsuoka (Communications Research Laboratory)

The incidence angle dependence and the seasonal variation of radar backscattering from the land surface in the Himalayas region have been extracted from the surface cross section data of Precipitation Radar (PR) of Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM). The scattering strength was different in land surface, such as mountainous region, highlands, and plains. The backscattering from lakes and rivers showed the incidence angle dependence and the seasonal variation.

**はじめに** 熱帯降雨観測衛星 (TRMM) には Ku バンド (13.8GHz) のマイクロ波降雨レーダが搭載されており、降雨エコーの降雨減衰補正を行う目的で、地表面のレーダ散乱因子が標準プロダクト (2A21) として定常的に出力されている。この標準プロダクトを使用し、ヒマラヤ地域の Ku バンドでの地表面散乱の特徴を明らかにすることが出来たので報告する。

**TRMM** TRMM は、1997 年 11 月に打ち上げられ、降雨レーダ (PR)、マイクロ波観測装置 (TMI)、可視赤外観測装置 (VIRS) のセンサーにより、熱帯地方 (南北緯約 40 度の範囲) の降水量の分布や降雨の三次元構造の観測を行っている。降雨レーダ (PR) は、高度 350km から電子走査により衛星直下を中心に左右 17 度の範囲 (走査幅 215km) の降雨を観測している。アンテナのビーム幅は 0.7 度で鋭く、地表面での水平分解能は約 4 km である。送信パルス幅は 1.6  $\mu$  sec で、レンジ分解能は 250m である。地表面エコーは降雨減衰の補正に使用されるため、2 倍のオーバーサンプルで測定され、標準プロダクト (2A21) として地表面の散乱断面積が出力されている。

**解析結果** 解析地域として、ヒマラヤ地域の氷河、湖、川、山脈、高原、平野等を含む範囲を設定した。季節変化を調べるため、時期は、'98 年 9 月、12 月、'99 年 3 月、6 月のそれぞれ 1 ヶ月分のデータを使用した。無降雨時の地表面散乱断面積から、入射角特性とそ

の季節変化を調べ、(1) 山脈、高地、平野での散乱強度の異なること、(2) 湖や河川は季節により入射角特性が変化すること、を明らかにした。図 1 にデータの一部を示す。

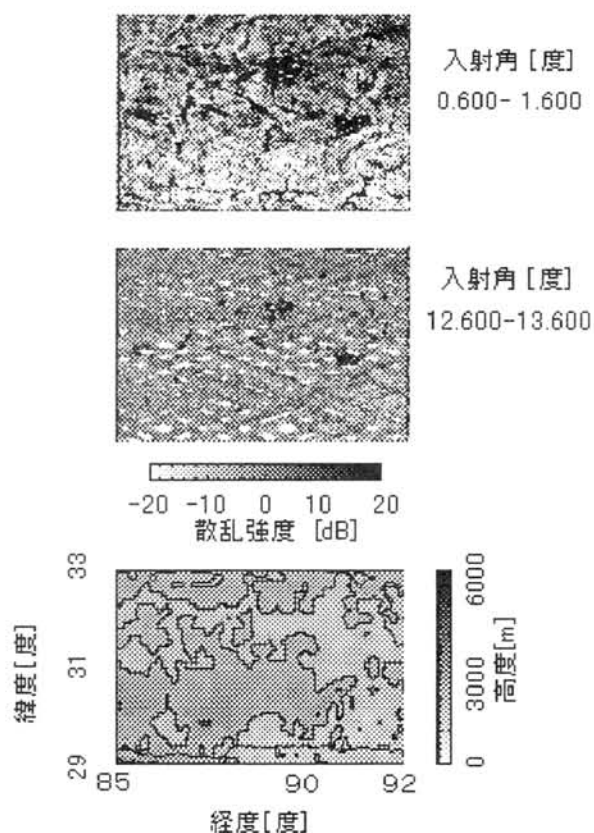


図1 1999年6月の地表面散乱断面積(上、中)と地形図(下)。上図からは、地形と散乱体の特徴が現れている。中図からは、湖からの散乱が顕著に現れている。



## 冬季北極対流圏中の無機ハロゲン化合物

原圭一郎・長田和雄・松永捷司・岩坂泰信・柴田 隆（名大太陽研）

### Inorganic halogen Species in Winter Arctic Troposphere

K. Hara, K. Osada, K. Matsunaga, Y. Iwasaka, T. Shibata (STEL, Nagoya Univ.)

Atmospheric aerosol particles and acidic gases were collected at Ny-Ålesund (78°55'N, 11°56'E) in 1998/1999 winter. Size distribution of non-sea-salt (nss-) Br<sup>-</sup> showed the accumulation in fine mode, and the Br<sup>-</sup> depletion in coarse mode. However, similar tendency was not observed in Cl<sup>-</sup>. Although one of the sources of gaseous halogen species may be the modification of sea salts, molar ratio of gaseous chlorine species to gaseous bromine species was lower than the molar ratio of Cl<sup>-</sup> to Br<sup>-</sup> in sea water. This suggested the relative accumulation of inorganic bromine species in winter Arctic troposphere.

日射の復活する春季の極域では、地上オゾン消失現象がしばしば観測される。このオゾン消失にはハロゲンラジカルによる触媒反応—特に臭素—が関連していると示唆されているが、ハロゲンラジカルの前駆体である反応性ハロゲン化合物のソースや低反応性物から高反応性物への変換過程については未だにはっきりしてはならず、大気エアロゾル粒子上での不均一過程が大きく関与していると考えられている。ここでは、大気エアロゾル粒子上での不均一過程の観点から冬季北極大気中のハロゲンサイクルについて報告する。

大気試料採取は、スピッツベルゲン島の Ny-Ålesund(78°55'N, 11°56'E)で、1998 年 12 月～1999 年 1 月末日に行った。大気エアロゾル粒子成分はバックアップフィルターを接続した Mid-Volume impactor(cut off; 2.0, 0.2 μm)を用いてニュクリポアフィルター上に捕集した。酸性ガス成分は粒子成分をプレフィルター(PTFE; pore size 1.0μm)で除去した後に、アルカリ含浸ろ紙上に捕集した。それぞれ基本的に半日（天候島の条件によっては 1 日）毎にシート、フィルター交換をした。試料は帰国後、抽出操作を施した後にイオンクロマトグラフ法で各成分を定量した。

図 1 に海塩粒子の主成分である Na<sup>+</sup>、非海塩性(nss-)Br<sup>-</sup>、ガス状無機塩素化合物(XCl)とガス状無機臭素化合物(XBr)のモル比を示す。これまでの観測結果では、粒子態 Br<sup>-</sup>は海塩成分相当量に対して過剰の状態で存在する傾向が見られた。この傾向は 1998/1999 年の観測においても同様であった。粒径別に nss-Br<sup>-</sup>の分布を見ると、海塩粒子が主に分布する粗大粒子域(>2.0μm)では、海塩相当量(ss-Br<sup>-</sup>)に対して損失していることが多く、微小粒子域(0.2-2.0μm)に分布していた。個々の粒子組成を分析した結果では、微小粒子の主成分である硫酸粒子に Br<sup>-</sup>が内部混合していることが多かった。以上のことから、g<sub>-</sub>Br<sup>-</sup>のソースの 1 つが海塩粒子の脱ハロゲン化であること、g<sub>-</sub>Br<sup>-</sup>が硫酸粒子に取り込まれていること、硫酸粒子が g<sub>-</sub>Br<sup>-</sup>の不均一反応の場として機能していることが伺える。しかしながら、Cl<sup>-</sup>はまったく異なった傾向を示していた。Cl<sup>-</sup>の粒径分布は Na<sup>+</sup>の粒径分布と同様に粗大粒子に中心があった。また、nss-Cl<sup>-</sup>はほとんど見られず、微小粒子域において顕著な Cl<sup>-</sup>損失が見られたものの、Cl<sup>-</sup>全量で見ると概ね海水比とバランスしていた。

ガス成分では、g<sub>-</sub>Cl の濃度レベルは g<sub>-</sub>Br 濃度レベルの約 10 倍以上だった。極域や海洋大気中でのガス状無機ハロゲン化合物のソースとしては、前述したように海塩粒子の変質に伴うハロゲン損失が



考えられている。同様の過程は海塩粒子だけではなく積雪・海氷表面でも起こりうる。何れにしろ、単純に海塩成分通りに脱ハロゲン化すると仮定すると、 $g\_Cl$  と  $g\_Br$  のモル比は海水比( $Cl/Br \approx 648$ )になると考えられるが、実際のモル比は海水比にの値より小さい値を示していた。この結果は、相対的に大気中に  $g\_Br$  が濃縮されていることを示唆する。大気中での臭素濃縮の原因として、①他のソース（有機物の分解など）、②  $g\_Br$  の選択的な放出、③  $g\_Cl$  と  $g\_Br$  の気相からの除去速度の違いなどが挙げられるが、個々の観測例の少なさ、物性値の不確定さもあり、今後の検討が必要である。当日は、過去4年の観測結果と比較検討しながら議論を行う。

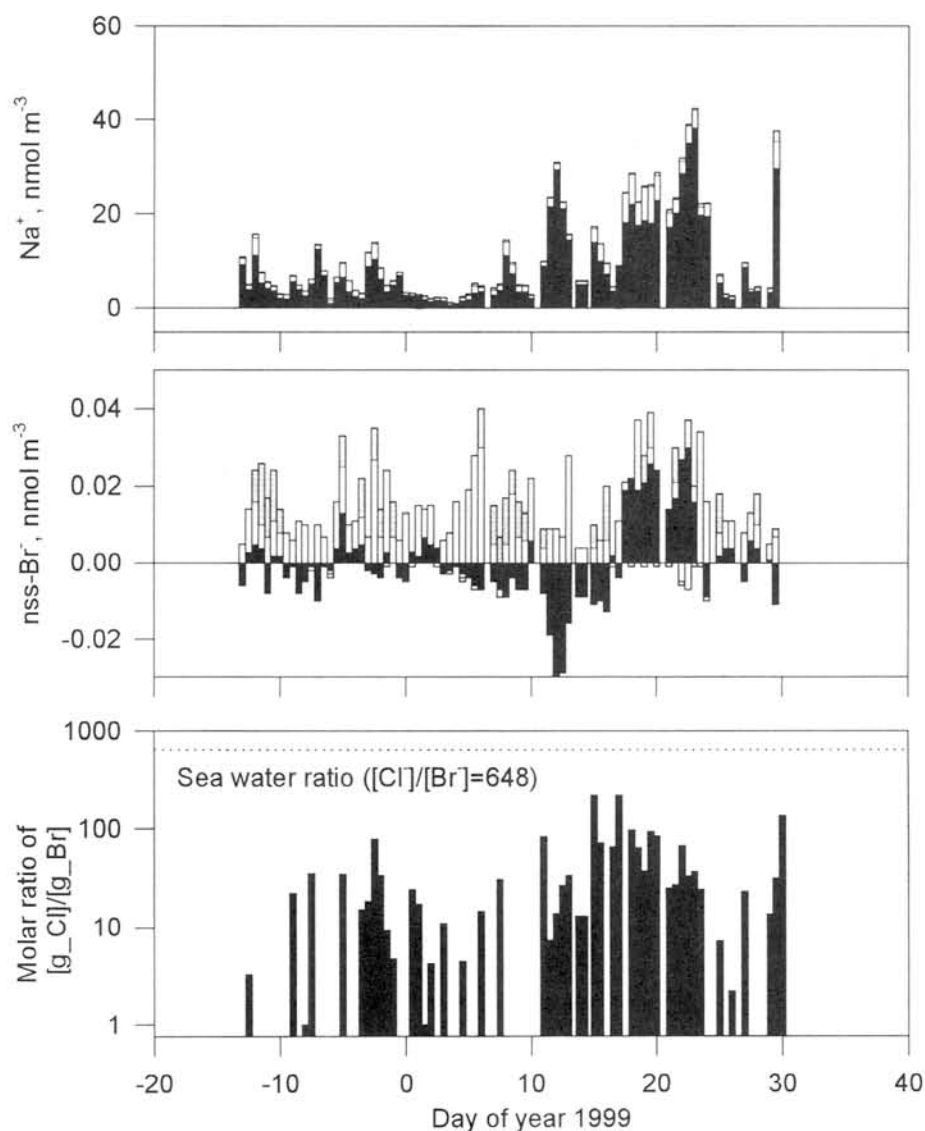


Figure 1 Variations of the concentrations of  $Na^+$ ,  $nss-Br^-$  and molar ratio of gaseous chlorines to gaseous bromines  
Solid, Coarse mode ( $>2.0\ \mu m$ ); open, fine mode ( $2.0-0.2\ \mu m$ ); shaded, back up ( $<0.2\ \mu m$ ).

## AAMP98 成層圏・対流圏観測で見られた粒子数濃度分布の特徴

渡辺征春・長田和雄・猪股弥生・岩坂泰信（名大STE研）、山形定（北大・工）、  
塩原匡貴（極地研）、土屋政義（シグマテック）、大橋敏次（DAS）

### Characteristics of Tropospheric and Stratospheric Aerosol Size-Number Concentration in AAMP 98

M.Watanabe, K.Osada, Y.Inomata, Y.Iwasaka (STEL, Nagoya Univ.), S.Yamagata (Hokkaido Univ.),  
M.Shiobara (NIPR), T.Tsuchiya (Sigma-Tec Co.,Ltd.), T.Oohashi(DAS)

Tropospheric and Stratospheric Aerosol Concentration were observed in the Arctic Airborne Measurement Program 1998 (AAMP 98) using Optical Particle Counter(OPC) installed in sub-sonic aircraft, Gulfstream II (G II). The observational results showed horizontally homogeneous distribution of particle concentrations in the lower stratosphere in late winter. However, distinct size-number distributions were found in some points on the flight paths. The observed particle size-number distributions and the characteristics will be discussed.

前回(第21回)報告したように、名大太陽研と(株)シグマテックとで共同開発された気球搭載型 OPC が観測用航空機 Gulfstream II (G II)に搭載され、98 年 3 月に AAMP 98 (Arctic Airborne Measurement Program 1998)が実施され、中緯度~北極に至る、高度 12km までの鉛直・水平方向のエアロゾル数濃度測定が行われ、全行程での観測に成功した。

観測全体としては機体巡航高度である成層圏下部では非常に均一なエアロゾル水平分布が得られ、中緯度以北の成層圏下部での大気安定度の強さ(鉛直混合及びより低緯度の大気との混合の弱さ)が示された。しかし観測プロファイル細部を見ると、局所的に数濃度及び粒径分布に変化が現れているところが見出され、その粒径分布変動が生じた原因が、単純に気塊の水平・垂直移流によるものなのか、それ以外の要因が影響を及ぼしているのかを、観測された OPC データと客観解析データとを照らし合わせて現在検討中である。発表では飛行経路上で得られた粒径分布変動の特徴とその原因について、またできればこれらの解釈から推測される晩冬の成層圏下部のエアロゾル 3 次元構造と擾乱の度合いについて、考察を述べるつもりである。

また気球と航空機搭載時との OPC データの比較に訂正があったので、これも報告する。

# 北極圏航空機観測(AAMP98)で観測されたヘイズ現象

山形 定、庄司和弘、村尾直人、太田幸雄(北大工)、塩原匡貴、藤井理行(極地研)

## Haze Phenomena Observed during Arctic Airborne Measurement Program(AAMP)98

YAMAGATA S., SHOJI K., MURAO N., OHTA S. (Hokkaido Univ.),  
SHIOBARA M., FUJII Y. (National Institute of Polar Research)

The arctic haze layers observed during Arctic Airborne Measurement Program(AAMP)98 are elucidated with relative humidity(RH) and chemical components. In some cases high RH may have caused the formation of haze layers while some haze layers were observed in the condition of low RH. The component of one haze layer at the height of 6000m over Barrow, Alaska was chemically characterized as NaCl by filter sampling and ionchromatography.

**はじめに** 1998年3月に実施された北極圏航空機観測AAMP98期間中、高度を変えながらの観測時、および離着陸時にそれぞれの地点におけるエアロゾル粒子数の高度分布を測定すると同時にテフロンフィルター上にエアロゾル粒子をサンプリングし、イオン成分を分析した。<sup>1)</sup>多くの場合 $0.3\mu\text{m}$ 以上の粒子数が上下層に比較し相対的に多いヘイズ層が複数層見られた。このヘイズ層に関し、その成因、構成物質などを同時観測したイオン成分、気象データなどから考察する。  
**観測方法** ダイヤモンドエアサービス社のGulfstream IIの気体取込口から客室内に設置した内径90mmのディフューザーに外気を取り込み減速させた。ディフューザー内の大気を分岐後①レーザーパーティクルカウンタ(MetOne237B)で粒径 $0.3\mu\text{m}$ 以上の粒子を計数、②テフロンフィルター上にサンプリングした。サンプリングした粒子は実験室に持ち帰りイオンクロマトグラフ(Dionex DX500)で陽、陰イオンを分析した。

**観測結果** 図1(a)に3月6日ロングイヤーズ、(b)に3月12日にバーロー上空で観測されたエアロゾル粒子数の高度プロファイルと気象データから求めた相対湿度とともに示す。3月6日の高度プロファイルは上空から下降しながら観測したもので高度8500m、5000m、3000m付近にヘイズ層が見られた。これらは航空機中からも視認されている。この時の相対湿度はヘイズ層が顕著な高度8500m、5000mにおいて高くなっており、これらのヘイズ層が高い湿度によって形成されていることを示唆する。つまり、パーティクルカウンタの検出限界である $0.3\mu\text{m}$ より小さな粒径領域に多数存在していた粒子が湿度の

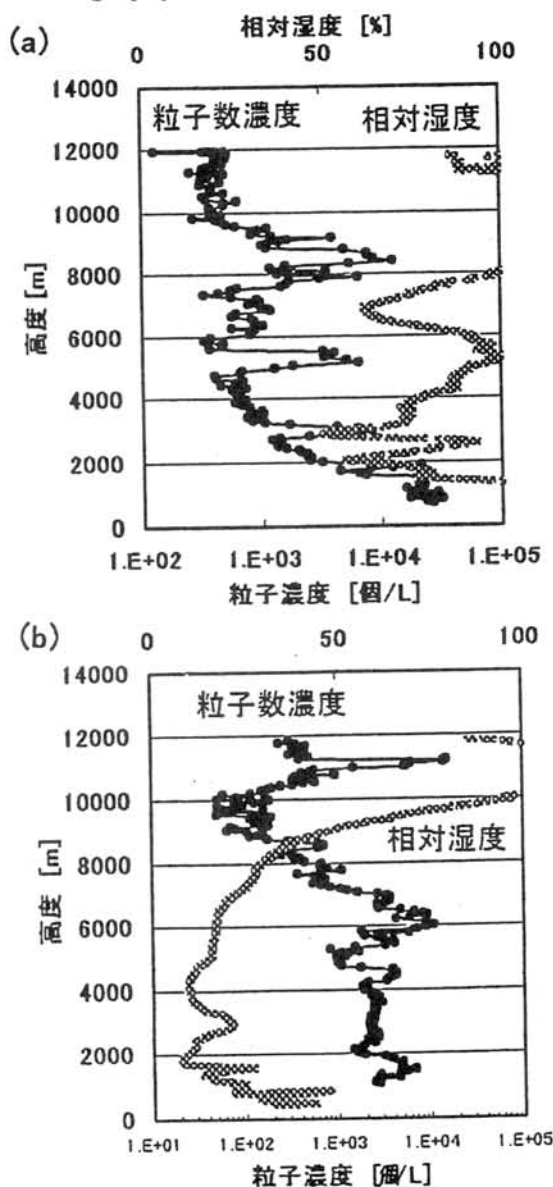


図1 極域上空におけるエアロゾル粒子( $0.3\mu\text{m}$ )数濃度の高度プロファイル(a)3月6日ロングイヤーズ (b)3月12日バーロー

上昇により膨潤し、パーティクルカウンタによって検出されるようになった可能性がある。このヘイズ層が観測された高度では化学分析用のフィルターサンプリングがなされていないため、ヘイズ層構成粒子の組成に関しては、不明である。今後、このような湿度変化によるヘイズ層形成が起きているかどうかを確認するためには、ヘイズ層内を一定時間水平飛行しヘイズ層構成粒子の化学分析をおこなうこと、およびより小さな粒径領域をも測定できる装置での同時観測が必要と考えられる。2つの高度で観測されたエアロゾル個数濃度と相対湿度の高度プロファイルがよく一致していたのに対し、高度3000mあたりのヘイズ層と高湿度領域にはずれが見られる。このずれが実際存在したのか、アーティファクトなのかについては不明である。後者の可能性として、下降速度が速いため両測定装置間の応答速度の違いが高度差となって現れる、急激に気圧が上昇するため測定器の精度が低下することなどが考えられるが、今後さらに詳細な検討が必要である。

地上のマイクロパルスライダー観測の結果によるとこの航空機観測時には8000m付近には巻層雲が存在しており、この高度で観測されたヘイズ層は消滅しつつある巻層雲と考えられる。このことは、ヘイズ層と雲が密接に関連していることを示している。すなわち、極域のように寒冷な地域においては、雲が形成されても降水に至らず再びエアロゾル粒子に戻るプロセスが十分起こりうる。このことは、中緯度から輸送された汚染物質が冬期間徐々に極域に蓄積され、都市部並に汚染されたヘイズ層いわゆる「アーктиックヘイズ」が形成される<sup>2)</sup>という過程に対応している。このように雲とエアロゾルが相互変換することは極域における放射過程のモデリングをおこなう際にも十分考慮しなければならない点であろう。

一方、3月12日の高度プロファイルはバーロー上空を下降しながら観測したものである。6000m付近に見られたヘイズ層は相対湿度と直接的な相関は見られず、3月6日のロングイヤープーン上空のヘイズ層とは異なった原因で生成していると考えられる。また、このヘイズ層を含む限られた高度で数時間後にサンプリングされた試料を分析した結果、この高度のヘイズ層には高濃度のNaClが含まれることが判明した。大気エアロゾル

中に存在するNaClは通常海面で形成された微水滴が乾燥して供給されることが知られている。春期の極域において高度6000mにまでNaClが輸送される機構については、流跡線解析などによってさらに詳しく検討する予定である。これ以外のサンプルでは主に硫酸イオンが検出されたが、時折高濃度のカルシウムイオンが検出される場合もあった。

ここでは特徴的な2つの高度プロファイルだけを示したが、3月8、9、10日にロングイヤープーンで観測された高度プロファイルをまとめて1つのプロファイルとしては表示すると図2ようになる。これより極域の0.3μm以上のエアロゾル個数濃度の高度プロファイルはバックグラウンドとして地表で、1リットル当たり数万個程度から上空に行くに従って徐々に減少すること、対流圏上部にまでヘイズ層が広がっていること、このヘイズ層は雲の存在と関わっている場合もあることがわかった。

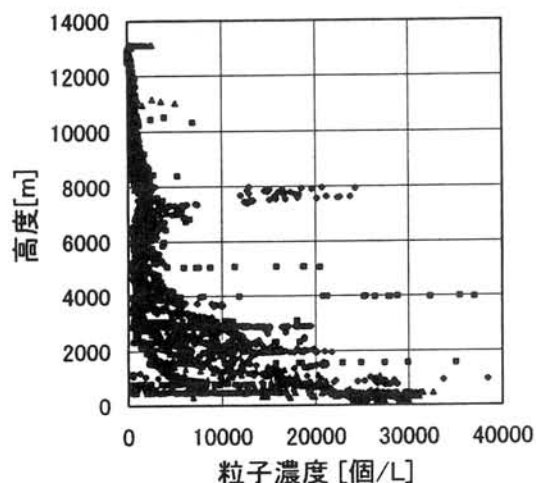


図2 ロングイヤープーンにおけるエアロゾル粒子(>0.3μm)数濃度の高度プロファイル。

【謝辞】航空機観測に際し、ご協力くださったダイヤモンドエアサービス社に感謝申し上げます。

#### 【引用文献】

- 1) 庄司他、「AAMP98観測-北極上空エアロゾル中のイオン成分」、第21回気水圏シンポ要旨集、p139(1998)。
- 2) Shaw, Glenn E., & Khalil M.A.K., "Arctic Haze", in The Handbook of Environmental Chemistry, Vol4/Part B p69-111, Springer-Verlag(1989)。

マイクロパルスライダーによる北極スバルバルの雲観測

塩原匡貴・和田 誠（極地研）、柴田 隆（名大・太陽研）

Cloud observation using a Micro-pulse Lidar in Svalbard

M. Shiobara, M. Wada (NIPR), and T. Shibata (Nagoya U./STEL)

Micro-pulse Lidar (MPL), an eye-safe maintenance-free lidar system, has been developed by Spinhirne (1993) in order to acquire long-term datasets of backscatter profiles of aerosol and clouds. An MPL manufactured by SESI, USA was placed at Rabben Observatory in Ny-Alesund, Svalbard and the measurement started in 1998. Based on preliminary analysis of the MPL data, performance of MPL for cloud and aerosol measurements will be shown and discussed.

1. はじめに

極域の放射収支における雲の役割は大きい。しかし、極域の雲を衛星観測から検出することは困難であることが知られている。そのため、従来の受動型センサーに代わり能動型センサーを用いた衛星観測が期待される。一方の地上観測も、極域では元来観測点が少ない上に目視観測が主体で、雲量や出現高度等のデータの信頼性も乏しいのが現状である。このため、極域の雲の climatology という観点からも、また衛星観測の地上検証という観点からも、極地での精密で長期的な雲観測データの蓄積が必要である。

国立極地研究所では極域の雲の重要性を認識し、北極圏スバルバル諸島のニーオルスンで雲観測を実施しているが、特に雲の出現頻度や出現高度の季節変動特性を調べることを目的に、マイクロパルスライダー (MPL) による連続観測を開始した。

2. MPLの概要

MPLは主に対流圏の雲とエアロゾルによる後方散乱強度の鉛直分布を長期間メンテナンスフリーで連続観測するために開発された小型レーザーレーダー装置である。オリジナルのMPLはNASA/GSFCで開発され (Spinhirne, 1993)、野外における長期連続観測が開始されて数年間経過する。本研究ではこのオリジナルをもとに米国 SESI 社が製作した市販のMPLを用いる。MPLの仕様を表1に示す。

3. 観測

MPLはスバルバル諸島ニーオルスン・ラベン観測所 (78°56'N, 11°52'E) の実験室に設置された。鏡筒は天頂角 34°で斜め上方を向き、建物の窓を通して観測する。距離分解能 30m、最大計測距離 30km、サンプル平均時間 120sec の測定モードで連続観測を行っている。観測データは Internet を通して ftp 転送され、現地の観測状況を日本から常時モニターしている。

表 1          マイクロパルスライダーの仕様

レーザー :	半導体励起 Nd:YLF レーザー
発振波長 :	523 nm
パルスエネルギー :	5 μJ
パルス周波数 :	2500 Hz
送信視野 :	50 μrad
受光望遠鏡 :	シュミットカセングレン型 (口径 20cm)
受光視野 :	100 μrad
検出器 :	アバランシェ・フォトダイオード
検出方式 :	光子計数法
測定制御 :	Windows PC によるプログラム制御
動作環境 :	室温 10°C以上 25°C以下の室内で動作



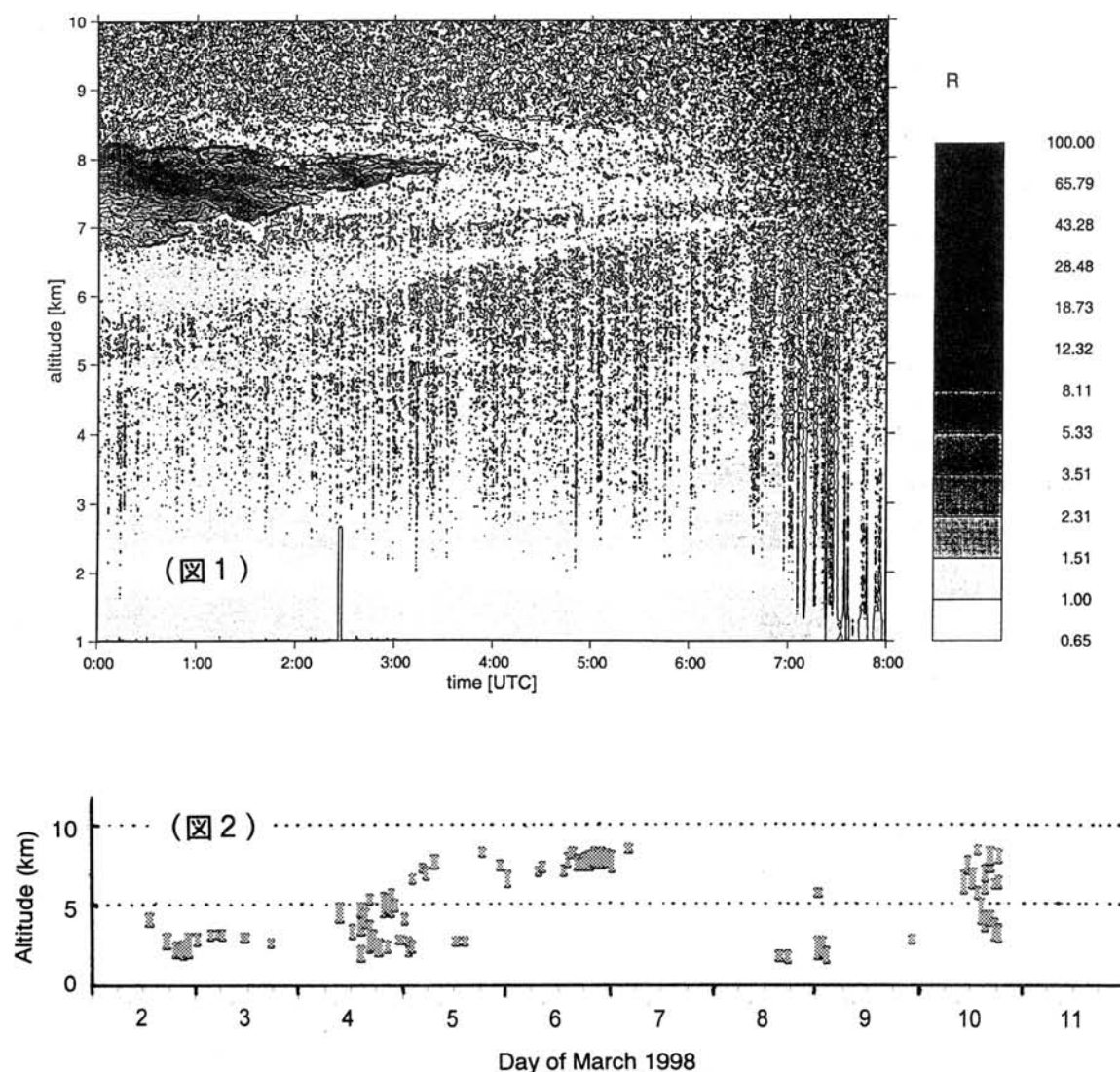
#### 4. 結果と考察

1998 年 3 月の北極域での航空機観測 (Shiobara et al, 1999) に合わせてニーオルスンで行った観測結果を示す。図 1 は後方散乱比の高度分布の時系列 (3/7, 00-08UT) で、高度 7~8km の薄い巻雲が時間と共に消滅する過程が観測された。さらに興味深いことには、散乱比 1~1.5 の弱い散乱層が巻雲の消滅後も同高度に見られ、その散乱層が時間と共に衰退する様子が見られる。この時の航空機観測では、同日 9:30UT 前後にニーオルスン上空付近を降下中に、エアロゾル光学カウンタにより高度 7~8km にエアロゾル層が観測された。このことは、MPL が対流圏エアロゾルの観測にも有効であることを示すものと考えられる。この日を含む前後の MPL 観測から求めた雲頂雲底高度の時系列を図 2 に示す。スバルバル上空ではこの日の他に 3 月 8 日、10 日の午前中に航空機観測が行われたが、この時上層雲は存在しなかったことが確認された。ただし、いわゆる北極層雲のような低い雲の雲頂雲底高度はよく再現されていない可能性があり、今後の課題である。

MPL 観測を開始するにあたり、NASA/GSFC・Dr. J.D. Spinhirne、千葉大 CEReS・竹内延夫教授並びに気象研・内山明博博士より技術的助言と協力を得た。また、図の作成はドイツ・AWI 極地海洋研・Dr. G. Beyerle 並びにエナジシエアリング社・村治能孝博士の協力を得た。

#### References

Shiobara, M., et al., 1999: *Polar Meteorol. Glaciol.*, **13**, in press.  
 Spinhirne, J.D., 1993: *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, **31**, 48-55.



## 冬期グリーンランド海における $\text{CO}_2$ 分圧、無機全炭酸 および栄養塩の測定

吉村 悟、青木 周司、中澤 高清（東北大）、森本 真司、牛尾 收輝、伊藤 一（極地研）

### Observations of $\text{CO}_2$ Partial Pressure, Total Inorganic Carbon and Nutrients in the Greenland Sea in Winter Season

S. Yoshimura, S. Aoki, T. Nakazawa (Tohoku University), S. Morimoto,  
S. Ushio and H. Ito (National Institute of Polar Research)

Observations of  $\text{pCO}_2$  in the surface water,  $\Sigma\text{CO}_2$  and nutrients were made in the Greenland Sea in January and February 1999. We found that spatial variation of  $\text{pCO}_2$  was determined mainly by sea surface temperature; higher values of  $\text{pCO}_2$  appeared at high temperature regions and vice versa. The maximum and the minimum values of  $\text{pCO}_2$  were 385 and 268  $\mu\text{atm}$  respectively, with the mean value of 330  $\mu\text{atm}$ . The value was almost 40  $\mu\text{atm}$  lower than that observed in the atmosphere. Vertical distribution of  $\Sigma\text{CO}_2$  was almost constant of 2.1  $\text{mmol kg}^{-1}$  from the surface to the bottom of the sea and the same value has been observed in summer below 200m depth in the same area. Lower concentrations of  $\text{PO}_4^{3-}$  and  $\text{SiO}_3^{2-}$  with the respective values of 0.5–0.8, 3–6  $\mu\text{mol l}^{-1}$  were obtained at the surface and the values increased with depth to attain maximum values of 1.0–1.1, 10–12  $\mu\text{mol l}^{-1}$ .

#### 0) はじめに

深層水形成域であるグリーンランド海は  $\text{CO}_2$  の重要な吸収源と考えられているが、自然環境が厳しいためにこれまで冬期観測はほとんど行なわれてこなかった。本研究では1999年1月と2月に表層海水の  $\text{CO}_2$  分圧、無機全炭酸 ( $\Sigma\text{CO}_2$ )、栄養塩の測定を行なったのでその結果を報告する。

#### 1) 観測期間と海域

1999年1月12日から約2週間、極地研がチャーターした観測船に乗船し、スバル諸島南部から西部にあたる海域で観測を行なった。また、1999年2月6日から約2週間、VEINS (Variability of Exchanges In the Northern Seas) に参加し、スバル諸島南部から南東部を中心に観測を行なった。

#### 2) 測定方法

$\text{pCO}_2$  については、平衡器を用いて平衡空気を容器に採取し、極地研に持ち帰ったのちに分析を行なった。海水の採取はニスキン採水器とバケツにより行なった。 $\Sigma\text{CO}_2$  は海水を日本に持ちかえったのちにマノメトリック法を用いて分析を行なった。リン酸塩とケイ酸塩の濃度は分光光度計を用いて現場で測定を行なった（測定精

度はともに3%）。今後、 $\Sigma\text{CO}_2$  の炭素同位体比も測定することになっている。

#### 2) 結果

1999年1と2月の  $\text{pCO}_2$  と SST は同じような分布をとる。スバル諸島の南東の海域では SST が  $2^\circ\text{C}$  以下、 $\text{pCO}_2$  が 340  $\mu\text{atm}$  以

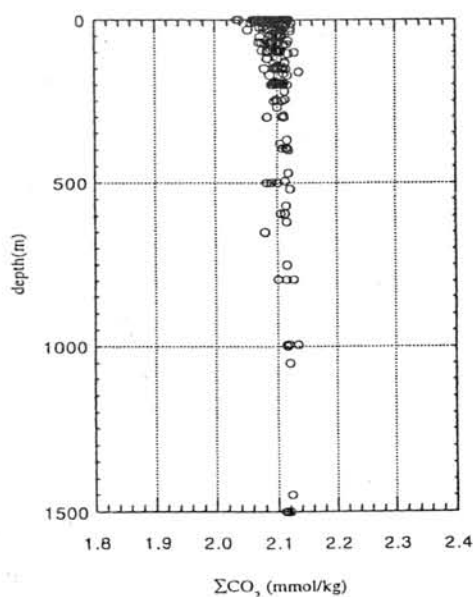


図1 1999年1月と2月のグリーンランド海における  $\Sigma\text{CO}_2$  の鉛直分布。

下であり、南下するにつれて SST、 $p\text{CO}_2$  とも増加し、 $20^\circ\text{E}$ 、 $71^\circ\text{N}$  付近で SST が  $6^\circ\text{C}$  以上、 $p\text{CO}_2$  が最大値約  $385\text{ }\mu\text{atm}$  となった。スバル諸島の西部では、 $6\sim 7^\circ\text{E}$  付近で SST、 $p\text{CO}_2$  とも極大値約  $3^\circ\text{C}$ 、 $345\text{ }\mu\text{atm}$  となり、東あるいは西に行くに従って減少し、 $0^\circ\text{E}$ 、 $80^\circ\text{N}$  付近で  $-1^\circ\text{C}$  以下、 $270\text{ }\mu\text{atm}$  以下になる。冬期観測における  $p\text{CO}_2$  の平均値は約  $330\text{ }\mu\text{atm}$  となり、大気の  $p\text{CO}_2$  よりも約  $40\text{ }\mu\text{atm}$  小さい。これまでの春や夏に行なわれた  $p\text{CO}_2$  の観測では、常に大気の  $p\text{CO}_2$  よりもグリーンランド海の  $p\text{CO}_2$  の方が小さかったことから、この海域では1年を通して海洋が  $\text{CO}_2$  を吸収していることが確認できた。

1999年1と2月の航海で得られた  $\Sigma\text{CO}_2$  の鉛直分布を図1に示す。 $\Sigma\text{CO}_2$  は表層で少しばらつきが見られるが、平均すれば1500m深まで鉛直方向にほぼ一様になっていることがわかる。これまでの春・夏期の観測で得られた

$\Sigma\text{CO}_2$  と比較すると、200m以深では  $2.10\sim 2.15\text{ mmol kg}^{-1}$  で一致しており、季節変動がほとんどないことがわかった。冬期の表層の  $\Sigma\text{CO}_2$  は夏期のそれと比べると変動が小さく、これは主に海水の融解による影響が冬期にはないためと考えられる。

図2は1999年1と2月のリン酸塩とケイ酸塩の鉛直分布である。リン酸塩、ケイ酸塩とも濃度が表層で低く（それぞれ  $0.5\sim 0.8$ 、 $3\sim 6\text{ }\mu\text{mol l}^{-1}$ ）、深くなるに従って徐々に増加し、深さ1500mではそれぞれ  $1.0\text{ }\mu\text{mol l}^{-1}$ 、 $10\text{ }\mu\text{mol l}^{-1}$  であった。TTO-NAS のグリーンランド海における1981年7～8月のリン酸塩、ケイ酸塩の鉛直分布と比較すると、海域は多少異なるが約300～1500mの深さではほぼ一致することがわかった。表層では  $\Sigma\text{CO}_2$  と同様に夏期よりも冬期において濃度の変動幅が小さくなっており、これも海水の融解がないためと考えられる。

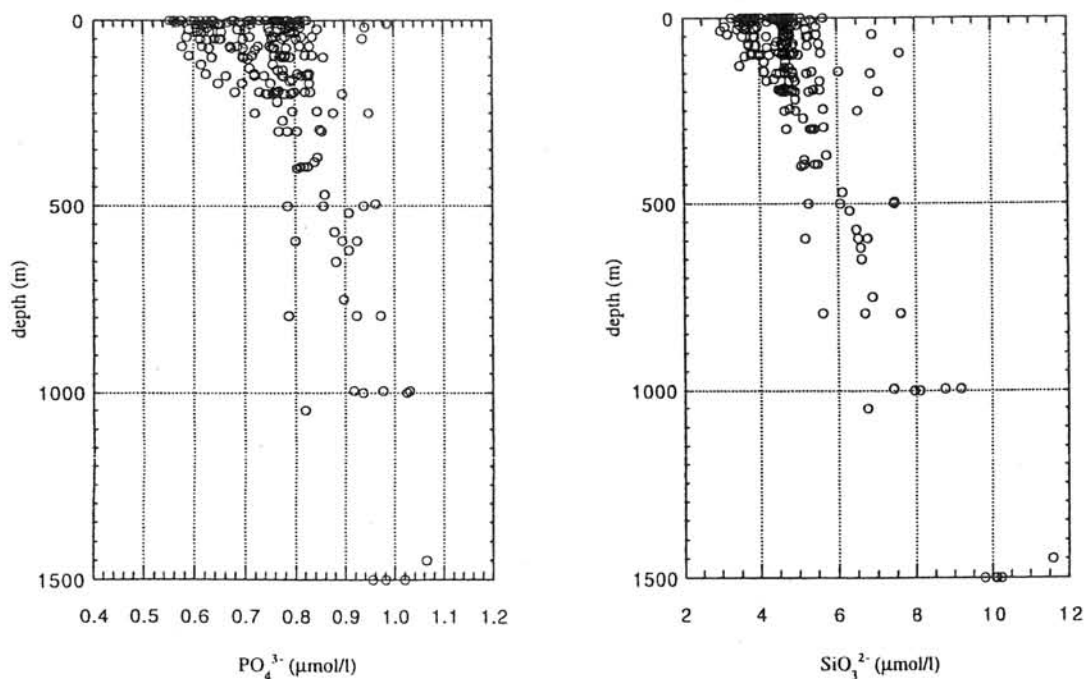


図2 1999年1月と2月のグリーンランド海における栄養塩の鉛直分布；  
左：リン酸塩、右：ケイ酸塩。

## 初期の極成層圏雲粒子と温度との関係

○足立宏, 柴田隆, 酒井哲, 石井昌憲, 田村耕一, 長谷正博,  
大橋鉄弥, 西田千春, 矢部愛, 岩坂泰信 (名大 STE 研)  
白石浩一, 村山健太郎, 古川淳一, 林政彦, 藤原玄夫 (福岡大)

### Relationship of ambient temperature to the polar stratospheric cloud particles in the beginnings of the winter

H. ADACHI, T. SHIBATA, T. SAKAI, S. ISHII, K. TAMURA, M. NAGATANI,  
T. OHASHI, C. NISHITA, A. YABE, and Y. IWASAKA (STEL)  
K. SHIRAISHI, K. MURAYAMA, J. FURUKAWA, M. HAYASHI, and M. FUJIWARA (Fukuoka Univ.)

The Polar Stratospheric Clouds (PSCs) which were composed of non-spherical and spherical particles were observed by lidar at Ny-Ålesund, Svalbard, on December. 1, 1995. According to temperature within polar vortex, this PSCs was the first event in this winter. The backward trajectory analysis shows that these particles had experienced the temperature around NAT frost point, but not around ice frost point. These results suggest that it is possible to form non-spherical particles around NAT frost point.

#### 1. はじめに

名大STE研と福大理学部は、1994年1月から毎冬季に、Ny-Ålesund (Norway :78.9°N, 11.9°E) にて、ライダーを用いたエアロゾル観測を実施している。この場所の上空の成層圏は冬季に極成層圏雲(Polar Stratospheric Clouds: PSCs)が発生するといわれている195°K以下になりやすい。実際、1994/95, 1995/96, 1996/97年冬季は大規模なPSCsイベントを観測している。

PSC粒子は、温度が下がるに従って硫酸粒子→硝酸粒子→氷粒子になるといわれている。当初は硝酸粒子は固相粒子である硝酸三水和物(NAT)であると考えられていたが、最近では、 $\text{HNO}_3/\text{H}_2\text{SO}_4/\text{H}_2\text{O}$ の三成分系液滴粒子等、その他いろいろな硝酸粒子が提案されている。Ny-Ålesundのライダー観測では、温度域から硝酸PSC粒子と思われるイベントが数多く得られた。今回の発表では、その中で特に各シーズンの初期の段階のPSC粒子について検討する。

#### 2. 初期のPSC粒子と温度

図1は、1995/96冬季の最初に見られたPSC粒子である。1995年12月1日の6:00に高度22km付近に非球形粒子(～固相粒子)のピークが観測され、12:00には同高度に球形粒子(～液滴粒子)も観測された。極渦内の最低気温\*が、最初にNATの霜点以下になったのが11/29なので[図2]、このPSCイベントは、PSC粒子が生成はじめた初期の段階のものである可能性が高い。

熱力学的モデル<sup>1)</sup>によると、固相の硝酸粒子は氷霜点の近くまで温度が下がらないと生成されないといわれている。しかし、図1で観測された固相粒子のある空気塊の温度履歴\*[図3]を見ると、NATの霜点付近までしか下がっていない。これは、モデルで考えられているより高い温度で固相粒子が生成される可能性を示唆している。

\* 気象庁の客観解析データを使用

#### Reference

1. Koop, T., et al.(1997), *GRL*, **24**, 2199-2202

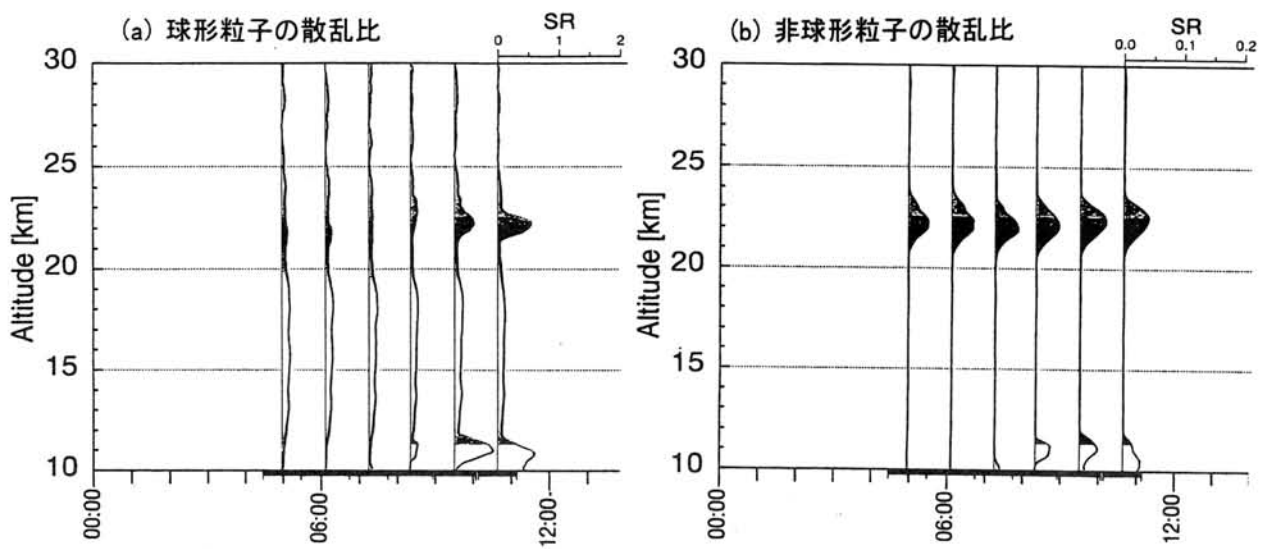


図1. 1995年12月1日の極成層圏雲のライダープロファイル  
[左: 球形粒子(～液滴粒子)の散乱比 右: 非球形粒子(～固相粒子)の散乱比]

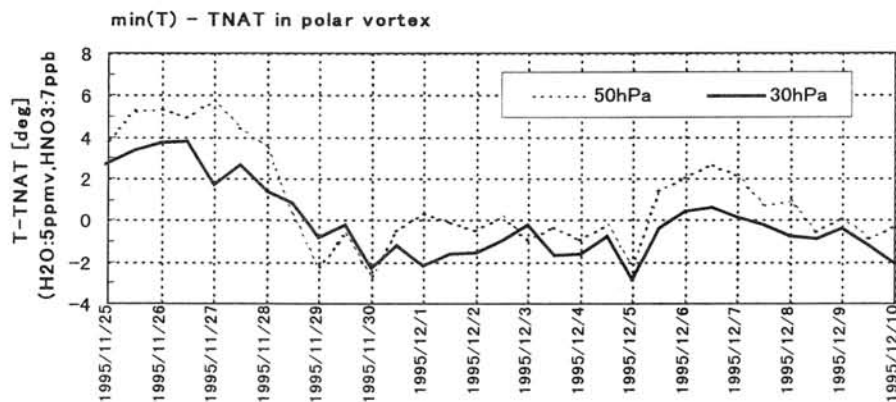


図2. 極渦内の最低温度(NATの霜点との偏差)  
[30hPa(～23km), 50hPa(～22km) の指定気圧面上で]

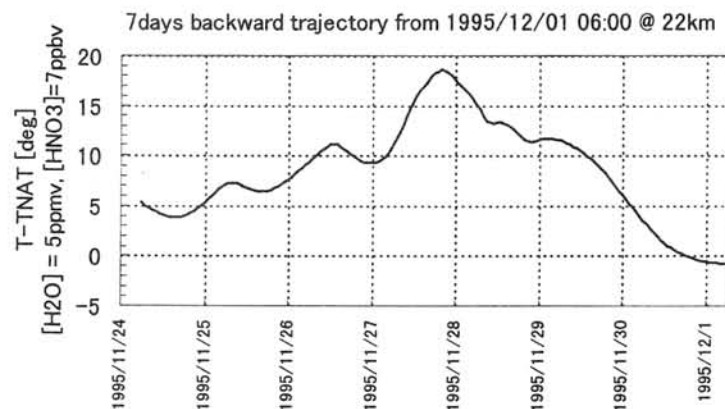


図3. 1995年12月1日のPSCsの温度履歴(NATの霜点との偏差)  
[1995/12/01 GMT6:00 22kmから7日間の後方流跡線解析]



## 極域ツンドラにおける水収支観測

佐藤軌文、石井吉之、兒玉裕二(北大低温研), 野村睦(北大演習林)

## Water Balance observation in Arctic Tundra

N. Sato, Y. Ishii, Y. Kodama (ILTS, Hokkaido University)

M. Nomura (Experimental Forest, Hokkaido University)

## Abstract

Water balance observation was carried out in an Arctic tundra area, east Siberia, in 1997 and 1998. To estimate water balance, runoff from snow patches was considered because large snow drift was formed during winter. In this study, the size of snow patch area was considered in the water balance equation. As the result, it was indicated that the contribution of melt water to the discharge became minimal by the beginning of July, its contribution to the input of the water balance was from 40 to 60%. The discharge was major output component (80 – 90%) and depended on the amount of precipitation and snowmelt. The contribution of evapotranspiration to the output was small (20%) and was almost constant throughout summer.

## 1. はじめに

グローバルスケールの水・熱循環の解析にはリモートセンシングやモデリングといった技術が用いられるが、未だ解決すべき多くの問題を抱えている。特に凍土地域においては、厳しい気象条件下にあるためにデータの蓄積が少なく、モデリング等のルーチン作成に必要な凍土と水・熱循環過程の関係についての理解が不十分である。過去の凍土地域においての水・熱循環過程の研究は主にアラスカ・カナダで行われており、アジアモンスーン地域の議論に密接な関係を持つと思われるシベリアでの研究例は少ない。

本研究では、GAME-Siberia 計画の一環として東シベリアにおいて行われた観測から、ツンドラ地域の水文特性を考察することを目的として解析を行った。

## 2. 観測地域

観測は1997年と1998年の6月から8月にかけて東シベリアのティクシ(北緯72度、東経129度)近郊のツンドラ地域で行われた。5.5km<sup>2</sup>の流域を設定、その末端で流量観測を行った。また、流域近傍の湿原上で気温、風速、放射等の気象観測も行った。

## 3. 解析方法

観測を行った地域は強風地域であるため、積雪の分布に大きな偏りが生じる。それが水循環に対してどういった影響を及ぼすかを見るために、積雪面積を考慮した水収支式を導入した。

$$P + aM = (1 - a)E + Q + dS \quad \dots \dots (1)$$

$P$ : 降水量、 $M$ : 融雪量、 $E$ : 無雪域からの蒸発散量、 $Q$ : 流出量、 $dS$ : 流域の貯留量変化である。 $a$  は積雪面積比で、流域面積に

対する積雪面積の割合として定義した。積雪面積の実測を行っていなかったため、解析では $a$ をチューニングパラメータとして用い、水収支各成分の大きさを見積もった。また雪面からの昇華・蒸発量は無雪域からの蒸発散量に比べ小さく、無視できるものとした。

4. 結果

積雪面積比 $a$ の推移を Fig.1 に示す。実際には積雪は8月までパッチ状に存在しているが、 $a$ は 1997、98 年とも 6 月中旬の融雪期以降急激に減少し、7 月上旬にはほぼ 0 に近くなった。このことから積雪からの流出は、夏期の比較的早い時期に見られなくなっていることがわかった。

水収支各成分の大きさを Table.1 に示す。融雪量は水収支の入力項((1)式の左辺)の大きさに対して 40～60%と大きい寄与があるが、降雨量は 1997 年と 98 年とで大きな差がみられた。流出量は水収支の入力項の大きさと強い関係がみられ、出力項((1)式の右辺)の大きさの 80～90%であった。また蒸発散量は流出量に比べて季節変化が小さく、その寄与は約 20%と見積もられた。

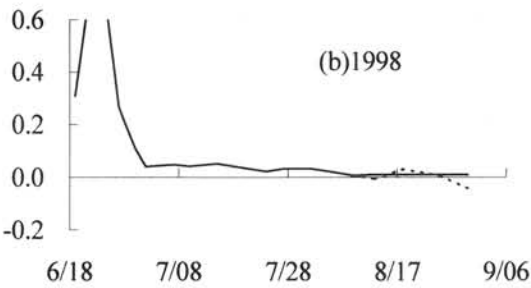
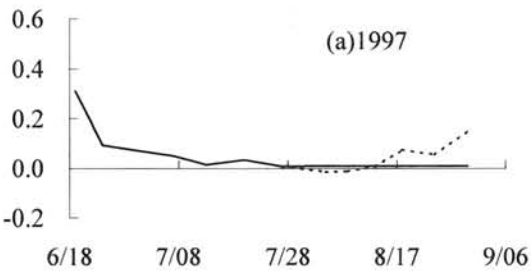


Fig.1 Ratio of snow patch area  
(a)1997 (b)1998

	P	aM	(1-a)E	Q	dS	X	(mm)
1997	220	187	67	381	14	-55	
1998	76	120	44	148	-1	5	

P: Rainfall  
aM: Snowmelt  
(1-a)E: Evapotranspiration  
Q: Runoff  
dS: storage change  
X: Residual

Table.1 Water Balance in summer

## 北半球中・高緯度における硫化カルボニル(COS)濃度の緯度分布

○猪股 弥生<sup>1</sup>、松永 捷司<sup>1</sup>、菅原 敏<sup>2</sup>、森本 真司<sup>3</sup>、長田 和雄<sup>1</sup>、林 政彦<sup>4</sup>  
岩坂 泰信<sup>1</sup>、渡辺 征春<sup>1</sup>、塩原 匡貴<sup>3</sup>

(1、名古屋大学 太陽地球環境研究所、2、宮城教育大学、3、国立極地研究所  
4、林 政彦)

Latitudinal distribution of carbonyl sulfide (COS) in the troposphere over middle - high latitude of Northern Hemisphere .

Y. Inomata<sup>1</sup>, K. Matsunaga<sup>1</sup>, S. Sugawara<sup>2</sup>, S. Morimoto<sup>3</sup>, K. Osada<sup>1</sup>, M. Hayashi<sup>4</sup>, Y. Iwasaka<sup>1</sup>,  
M. Watanabe<sup>1</sup>, M. Shiobara<sup>3</sup>

(1. Nagoya University, Solar Terrestrial Environmental Laboratory, 2. Miyagi University of Education, 3. National Institute of Polar Research, 4. Fukuoka University, Facul. Sci)

### 【 Abstract 】

Vertical and latitudinal distribution of carbonyl sulfide (COS) was obtained by the aircraft observation during the Arctic Airborne Measurement Program 1998 (AAMP98) and the several aircraft observation over Wakasa bay for the period of 1995-1998. Over Japan (35°N), COS concentration showed a high variability, whereas the variability at northern high latitudes and upper free troposphere is insignificant. The large variability observed over Japan suggested a large contribution of anthropogenic sources in the middle latitude over the lower troposphere.

### 【はじめに】

硫化カルボニル(COS)は、対流圏では化学的反応性が乏しいため寿命が長く、成層圏まで拡散する。そして、成層圏における強い紫外光によって光化学分解を受け、SO<sub>2</sub>、さらに硫酸に酸化され液滴となる。そのため、地球放射収支やオゾン消失反応に影響を与える成層圏エアロゾルの前駆気体の一つとして考えられている。一般に、対流圏に於けるCOSの濃度はほぼ均一な鉛直・水平分布をしていると報告されているが、その実測例はあまりない。そこで対流圏—下部成層圏のCOSの濃度分布とその輸送・変質過程を明らかにすることを目的として、航空機観測を行った。本発表では、北極航空機観測(AAMP98)と若狭湾上空の航空機観測で得られたCOSの濃度の緯度分布について述べる。

### 【 試料採取と分析方法 】

北極航空機観測(AAMP98)は、1998年3月6-14日に、名古屋—ペトロパブロフスク—バロー—ニーオルセンを結ぶ航路で実施された。大気試料の採取は、高度2150-12000mでおこなった。大気試料は、機体上部に取り付けられた外気取り込み口からポンプを用いて導入し、試料採取シリンダー(1L)内に加圧(約2.5-6気圧)採取した。若狭湾上空における航空機観測は、1995/2/23, 12/27, 12/28, 1996/4/23, 1998/4/10の合計五回、高度5500m以下でおこなった。大気試料は、減圧吸引サンプラー内に設置したサンプリングバックに採取した。大気試料は低温濃縮後、GC/FPD(島津GC8A)を用いて分離・定量した。

## 【結果と考察】

図1に、対流圏におけるCOSの濃度の緯度分布を示す。大気試料を採取した高度は、AAMP98では対流圏全高度範囲、若狭湾上空では高度5.5km以下である。そこでCOSの濃度分布について、境界層内(2km以下)、下部自由対流圏(2-6km)、上部自由対流圏(6-9km)の3層に分けて考察する。

北緯50度以北のCOSの濃度は、385-484pptvの範囲で変動していた。しかし、上部自由対流圏における濃度は、境界層や下部自由対流圏の濃度と比較してわずかに低濃度であった。北緯35度のCOSの濃度は368-576pptvの範囲で変動し、高緯度と比較して、その濃度範囲は大きく変動していた。

COSと同時に測定したCS<sub>2</sub>の起源は、主に人為活動による。北緯50度以北のCS<sub>2</sub>の濃度は、検出されたものの定量下限以下であった。一方、北緯35度におけるCS<sub>2</sub>の濃度は200pptv以下であった。CS<sub>2</sub>の濃度が高いとき、COSの濃度が高くなる傾向があることから、COSの濃度が高い時には人為汚染の影響を強く受けていると考えられた。等温位面流跡線解析をおこなった結果、北緯35度のCOSの濃度は空気塊が北京・韓国上空を通過していたときに高い傾向が認められた。特に、自由対流圏で高濃度のCOSが観測された95/2/23には、観測日の1-2日前に北京付近を低気圧が通過しており、活発な対流活動によって地表付近の物質が自由対流圏にまで急速に輸送された可能性がある。また、比較的低濃度のCOSが観測された時(95/12/28, 96/4/23)には、工業地域の少ないアジア大陸北部に由来する比較的清浄な空気塊が到達していたと推定された。したがって、北緯35度付近に於けるCOSの濃度は起源からの放出量・除去源・大気の全球的輸送等の影響を強く反映しているために、大きい濃度変動範囲を示したものと考えられた。

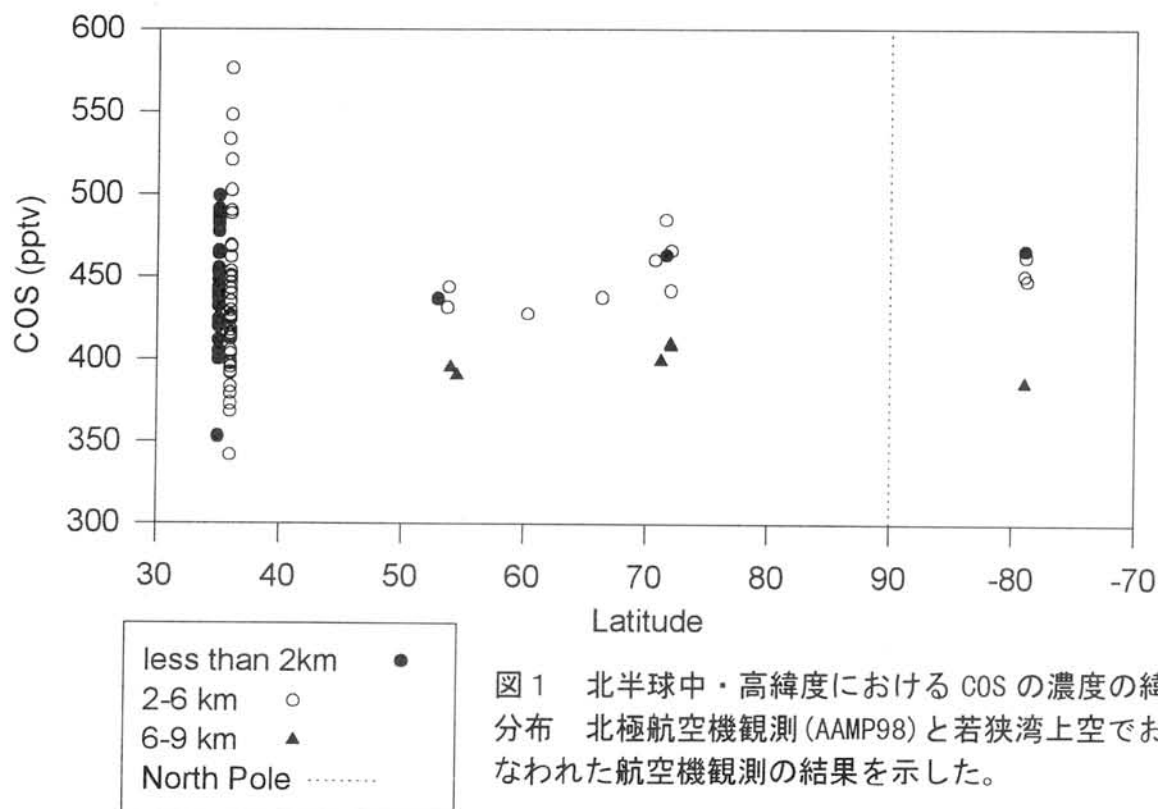


図1 北半球中・高緯度におけるCOSの濃度の緯度分布 北極航空機観測(AAMP98)と若狭湾上空でおこなわれた航空機観測の結果を示した。

## 北極域 Ny-Aalesund で観測された大雲粒付雪結晶

小西 啓之 (大阪教育大)

Large cloud droplets rimed on snow crystal observed at Ny-Aalesund, Svalbard

H. Konishi (Osaka Kyoiku Univ)

The non-ordinary large cloud droplets rimed on a snow crystal were observed at Ny-Aalesund, Svalbard. The process to form large droplets were investigated. The sufficient liquid phase water was expected in the clouds by using the data of vertical pointing radar, microwave-radiometer. The variation of number of aerosols shows that the air mass forming large cloud droplets were more clean than ordinary cloud.

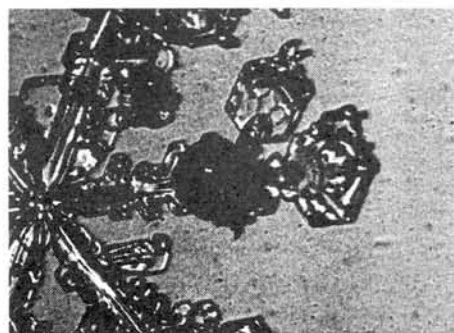
## はじめに

1998年2月9日から3月12日までおよび1999年1月7日から2月4日までの二冬の合計二ヶ月間 Norway 北極圏の Ny-Aalesund に滞在して、雲と降水の観測を行った。これまで極域では降水粒子の形状に関して多くの観測が行われているが、今回は、極域特有の降水粒子の一つとして考えられる大雲粒付き雪結晶に着目して観測し、その形成過程について考察を行った。この直径  $100\mu\text{m}$  を越える大雲粒付き雪結晶は、これまで南極・昭和基地やアラスカ・フェアバンクスなど極域で観測され、中緯度で観測される雪粒子に付着した雲粒の粒径が、せいぜい数十  $\mu\text{m}$  であることを考えると、極域特有の降水粒子と考えることができる。今回は、レーダーエコーの鉛直構造、雲水量、エアロゾル数などのデータとの比較から大雲粒付き雪結晶の形成過程の考察を行った。

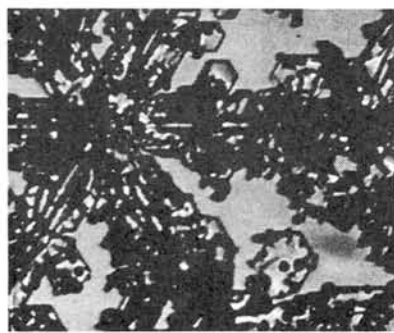
## 結果と考察

観測期間中、地上で雪結晶の顕微鏡写真を撮影できた降雪は計8例あり、大きな雲粒が付着した雪結晶は、1999年1月28日の1例にのみ見ることができた。写真1にその雪粒子を示したが、中央の円形のものが樹枝状結晶に付着した大雲粒で、粒径は  $240\mu\text{m}$  あった。この観測例では大雲粒が付着した降雪粒子は数時間降り続き、大雲粒が数珠のようにつながったものや、霰状に集まったものも観測された。他の降雪時には、付着した雲粒は最大  $30\mu\text{m}$  程度であるか全く雲粒が付着していなかったもので、この大雲粒は特別な環境下で形成されたことが予想される。

この雲粒の粒径の差は、いわゆる空気のきれいなエアロゾル数の少ない極域では、凝結核や凍結核が共に少なく、その結果として氷点下でもあるにもかかわらず、雲粒が凍結しないまま大きく成長できることを示していると考えられる。実際、エアロゾル数の比較をするとこの大雲粒が観測された降雪時は、他の例に比べエアロゾル数が少なくなっていた。これは、この降雪が、低緯度から近づいた低気圧に伴う雲からもたらされたのではなく、グリーンランド北部の高緯度側から近づいた低気圧に伴う雲からもたらされたということと関係していると考えられる。

写真1. 雪結晶の枝上に付着した大雲粒( $240\mu\text{m}$ )

28. Jan. 1999. 07:25 地上気温-8℃、エコー頂 2.5km

写真2. 雪結晶の枝上に多数付着した雲粒( $30\mu\text{m}$  程度)

11.Mar.1998.01:30 地上気温-14℃、エコー頂 2.8km



## 新しい北極大気観測「北極域対流圏・成層圏物質の変動と気候影響」

山内 恭（極地研）・北極大気観測グループ\*

A new Arctic atmospheric observation project

"Variations of Atmospheric Constituents and Their Climatic Impacts in the Arctic"

T. Yamanouchi (NIPR) and Arctic atmosphere observation group\*

A new atmospheric observation project has been started in the Arctic, aiming to investigate behaviors of greenhouse gases, ozone, aerosols and clouds and their climatic impacts. In 1999 - 2000, adding to the continuous observation of greenhouse gases and aerosols at Ny-Alesund, Svalbard, several campaign observations are planned such as ship borne observation, observation of cloud and disturbance, and airborne aerosol and radiation observation (ASTAR 2000).

・はじめに：本観測研究は、北極域大気の大気対流圏、成層圏における温室効果気体やエアロゾル、オゾン、雲の変動を明らかにし、その原因となる輸送や生成・消滅過程の解明をはかり、南極域と対比しつつ、放射効果などを通じた気候への影響を評価することを目的としている。1999年度から、6カ年計画の特定領域「北極域における気候・環境変動の研究」の中の1つの計画研究として開始された。

北極海への出入り口、海洋性の北極としての代表点である、スバルバル諸島、ニーオルスン観測基地を中心に、これら大気中物質を継続的に観測して変動特性を明らかにすると共に、気球や航空機を使った鉛直分布、広域3次元分布の観測、衛星や気象客観解析データの解析、モデルによる評価を通じ、変動の原因となる輸送・変質過程や、さらには気候影響を解明しようというものである。ニーオルスン観測基地では、ノルウエー極地研究所の協力の下、既に5年以上にわたってこれら大気中物質の観測を続けてきたが、さらに体制を強化して重点的な観測を計画している。

### ・1999-2000年の実施課題：

(1) 温室効果気体の輸送と発生・消滅過程：ニーオルスン基地地上で、大気サンプリングや連続観測を行い、オゾンを含む温室効果気体の濃度変動を明らかにする。採取大気試料の同位体比を分析し、ソース・シンクや循環の情報を得る。二酸化炭素の大気-海洋間交換について、ノルウエー観測船Lanceによる秋期の観測を実施しつつある。

(2) エアロゾルの輸送・変質過程と雲：ニーオルスン基地地上で、ガス、エアロゾルのサンプリング、エアロゾル粒子の粒径別数濃度や降雪粒子観測等を行いエアロゾル、降雪の化学組成、動態を調べると共に、雲、水蒸気について、地上からのレーダやマイクロ波放射計による観測を行う。さらに、雲や擾乱の分布、

変動を調べるノルウエー海ペアー島での観測と連携した集中観測、バローでのサンプリングも実施する。

(3) エアロゾル、雲の分布特性と放射効果：

(2)の地上観測に加え、放射観測、エアロゾルの光学観測、マイクロパルスライダー観測等から、エアロゾル、雲の放射特性に関係する物理量を得る。(2)の目的と併せ、航空機-地上同期観測を実施する。

・日独共同航空機-地上同期観測 (ASTAR: Arctic Study on Tropospheric Aerosol and Radiation)：北極域の大気対流圏エアロゾル（北極ヘイズ等）の挙動と、その放射効果を調べることを目的とした計画である。2000年春期にスバルバル諸島近海上空において日独共同の航空機観測を行い、エアロゾル濃度や粒径分布などの微物理特性と散乱・吸収係数などの放射特性の鉛直構造を調べる。航空機はアルフレッド・ウエーグナー極地海洋研究所のドルニエ228型機を用い、エアロゾル観測は主に日本側が担当、放射観測は主にドイツ側が担当する。ニーオルスン基地では、マイクロパルスライダーやレーダ等のリモートセンシング観測をはじめ、エアロゾル測定、サンプリング等、様々な地上観測を実施する。エアロゾルゾンデを使った係留観測も試みる予定。

おわりに：北極大気観測は、南極の観測と異なり、北極圏諸国による長い歴史、実績が作られている。この中で、新しい成果を得ることは、大変難しい状況にあり、特徴を生かし、目的を絞った、効率の良い観測が求められるところであり、ご教示を期待する。

-----

\*和田誠、塩原匡貴、平沢尚彦、橋田元、森本真司、山形定、太田幸雄、深沢達矢、遊馬芳雄、遠藤辰雄、梶川正弘、佐藤昇、小西啓之、菊地勝弘、青木周司、中沢高晴、渡井智則、岩坂泰信、柴田隆、長田和雄、原圭一郎、古賀聖治、J. B. Ørbeak, A. Herber

## 1987-1999 のオホーツク海海氷の変動

館山一孝・榎本浩之（北見工大）

## Sea ice fluctuation in the Sea of Okhotsk during 1987-1999

K. Tateyama, H. Enomoto (Kitami Institute of Technology)

Sea ice fluctuation in the Sea of Okhotsk during 1987-1999 was investigated by using SSM/I data set with the S/KIT algorithm which can distinguish ice types such as fast ice, floe, young ice, new ice in more than 80 % ice concentration area. The ice extent decreases from the maximum  $1.52 \times 10^6 \text{ km}^2$  observed in 1988 to the minimum  $1.08 \times 10^6 \text{ km}^2$  in 1997. The peaks of ice extent are seen in 1993 and 1998 like a half decadal cycle in this period. When floe occupation decreased, low concentration area which is less than 80 % increased with negative correlation. Young and new ice occupation also increased constantly.

**はじめに** オホーツク海の海氷は全て一年氷である。このような季節海氷域では、海氷面積は結氷期における気温に大きく左右されると同時に、風による収束・発散によって密接度は変動する。本研究は、1987年12月から1999年3月までの13年間について、地上気温の変動に対する海氷の変動を調べるために、風の影響を受けやすい密接度の他に、海氷を厚さによって4種類に分類し、氷縁内部の氷厚分布の変動を解析した。

**使用データ** 海氷情報として、NSIDC からCD-ROMで配布されているDMSP衛星のバッシュマイクロ波放射計SSM/Iの輝度温度データを使用した。解析期間は、1987年から1999年の13年間、12月から4月までの5ヶ月をオホーツク海における結氷期間と設定し、データは10日ごと（1, 11, 21日）に1日ずつ抽出して解析した。オホーツク海周辺の地上気温データは、NCEPによって供給されている客観解析データから、日平均気温を10日平均にして使用した。

**解析手法** SSM/Iの輝度温度データから、S/KITアルゴリズム（Tateyama et al., 1999）を使用して、海氷密接度を求め、さらに定着氷、一年氷、若年氷、新生氷に海氷を分類し、

それぞれの海氷面積の変動を求めた。

**解析結果** 図1にオホーツク海の最大海氷面積と氷種の割合の経年変動を示す。1987年から1997年にかけて、オホーツク海の海氷は年々減少し、1988年に $1.52 \times 10^6 \text{ km}^2$ であった最大結氷面積は、1997年には $1.08 \times 10^6 \text{ km}^2$ と2/3に減少していた。氷種別に見ると、厚さ60cm以上と推定される一年氷域（図中ではFloeとFast）は60%から40%に減り、新生氷（New）や若年氷（Young）といった薄氷の割合は24%から31%と若干増加している。密接度80%以下の海氷域（Low）は、面積が大きい年には15%程度であったが、小さい年には30%に達していた。

一方で、1998年は1988年並に海氷面積が大きく、 $1.45 \times 10^6 \text{ km}^2$ であった。翌年の1999年では、トータルの海氷面積は平年並みであるものの、この解析期間で最も一年氷の割合が少なく（30%）、最も密接度80%以下の海氷面積の割合が多かった（39%）。

これらの解析結果から、解析期間が13年間と充分ではないものの、1988年と1993年、1998年の5年おきに海氷面積のピークを示していることがわかった。氷種に注目すると、一年氷と密接度80%以下の海氷との間に負

の相関が見られた。また、新生氷域の割合はほとんど変動せず、若年氷の割合は全体の海氷面積にかかわらず増加していることがわかった。

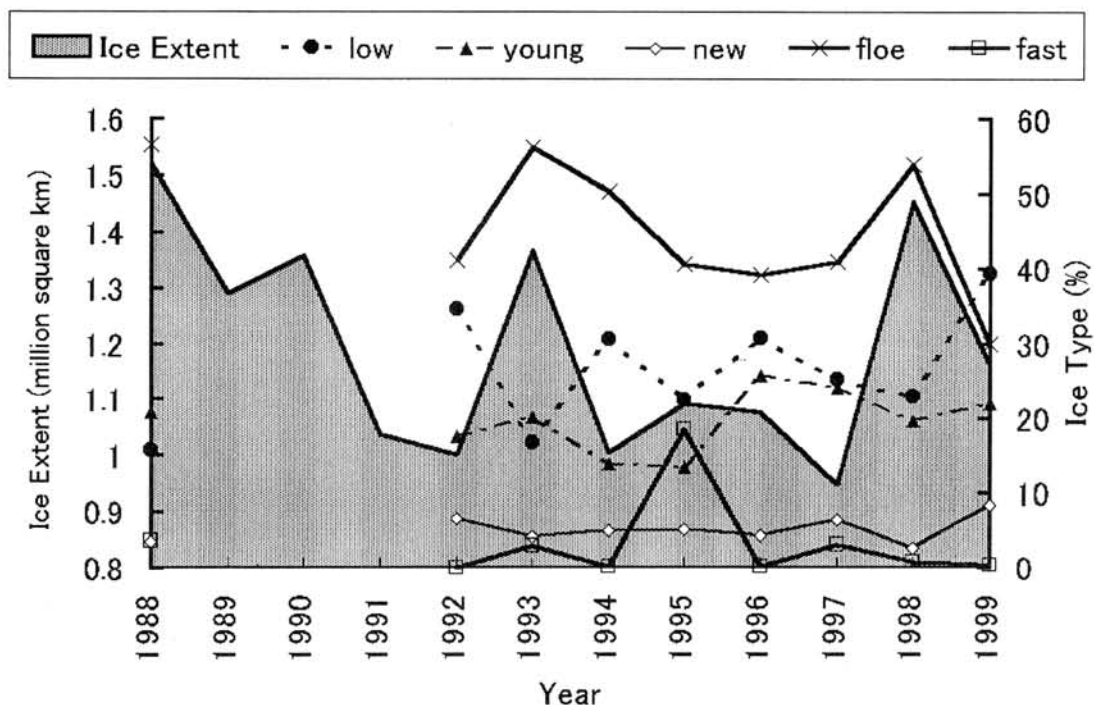


図1 オホーツク海の最大海氷面積の変動と氷種の変動

灰色の面積は各年度における最大海氷面積（左軸）を表し、氷種の割合は（右軸）折れ線で表す。low は密接度 80%以下の低密接度海氷域を示し、young は若年氷、new は新生氷、floe は一年氷の氷盤域、fast は沿岸定着氷をそれぞれ示す。

氷種を区別する S/KIT アルゴリズムは 85GHz のチャンネルを使用するが、1989 年から 1991 年の 3 年間は 85GHz のセンサーが不調のためデータがなく、最大面積のみを示している。

## 多周波多偏波合成開口レーダ(SAR)によるオホーツク海氷の観測

松岡建志・浦塚清峰・佐竹誠・小林達治・灘井章嗣・梅原俊彦・前野英生（通信総合研究所），  
若林裕之（宇宙開発事業団），西尾文彦（北海道教育大釧路）

### Observations of sea ice in the Sea of Okhotsk using multi-frequency polarimetric SAR

T. Matsuoka, S. Uratsuka, M. Satake, T. Kobayashi, A. Nadai, T. Umehara,  
H. Maeno (CRL), H. Wakabayashi (NASDA), F. Nishio (Hokkaido Univ. of Edu.)

Multi-frequency, polarimetric airborne SAR observations of sea ice in the Sea of Okhotsk were carried out in February 1999 in conjunction with the RADARSAT SAR observation. The airborne SAR has two frequencies (L- and X-band) and full-polarimetric functions. It is possible to distinguish the ice types, such as the gray ice zone (10-30 cm-thick), with comparisons of backscattering from the sea ice at L- and X-band.

**はじめに：** 北海道オホーツク海沿岸域は北半球の海氷の南限であり，その海氷の消長に対し，地球温暖化の影響が顕著に現れる海域の一つと考えられている．そのため，この海域の海氷の空間的・時間的分布を観測することは極めて重要である．広域かつ詳細な海氷の分布状況の把握には，全日性・全天候性のマイクロ波合成開口レーダ（Synthetic Aperture Radar; SAR）が有効である．しかしながら，人工衛星による単周波・単偏波の観測では，氷厚など物理情報を抽出することが困難である．本発表では，通信総合研究所と宇宙開発事業団で開発された2周波・多偏波の航空機搭載 SAR（PI-SAR）によるオホーツク海氷の観測結果と，周波数・偏波特性から分かる可能性のある海氷の物理情報について報告する．

**SAR 観測：** 使用した SAR は X-バンド（9.6 GHz，波長 3.1 cm，通信総合研究所所有）と L-バンド（1.27 GHz，波長 23.5 cm，宇宙開発事業団所有）の2周波で，小型ジェット機（Gulfstream II）に搭載され観測する．得られる画像の分解能はそれぞれ 1.5 m と 3.0 m である．送受信偏波は HH, VV, HV, VH（HV：H 送信，V 受信）である．航空機 SAR 観測は 1999 年 2 月 23, 24 日，北海道のオホーツク海沿岸の海氷域で行った．また，航空機から，観測時の海氷の写真撮影を行った．同時期に RADARSAT の C-バンド SAR（5.3 GHz，波長 5.7 cm，HH 偏波）画像も取得した．

**観測結果：** 図. 1 に，2 月 23 日の RADARSAT の SAR 画像を示す．画像中の海域に密に海氷が存在するのが分かる．図. 2 にはほぼ同時刻に取得した航空機 SAR（HH 偏波）の画像を示す．(a) の L-バンドでは，(b) の X-バンドよりも比較的大きな氷板でレーダの後方散乱が小さい（画像が暗い）が，氷板の端では散乱が大きいことが分かる．また，航空機からの光学写真との比較により，積雪の載っていない比較的小さい Gray Ice（氷厚 10-30cm 程度）で，L-バンド では海面と同程度の散乱で区別が出来ないが，波長の短い X-バンドでは海面よりも非常に散乱が強いということが定性的に分かる（画像左端の氷板）．さらに，これらの特徴の定量的解釈・偏波特性などについて議論する予定である．



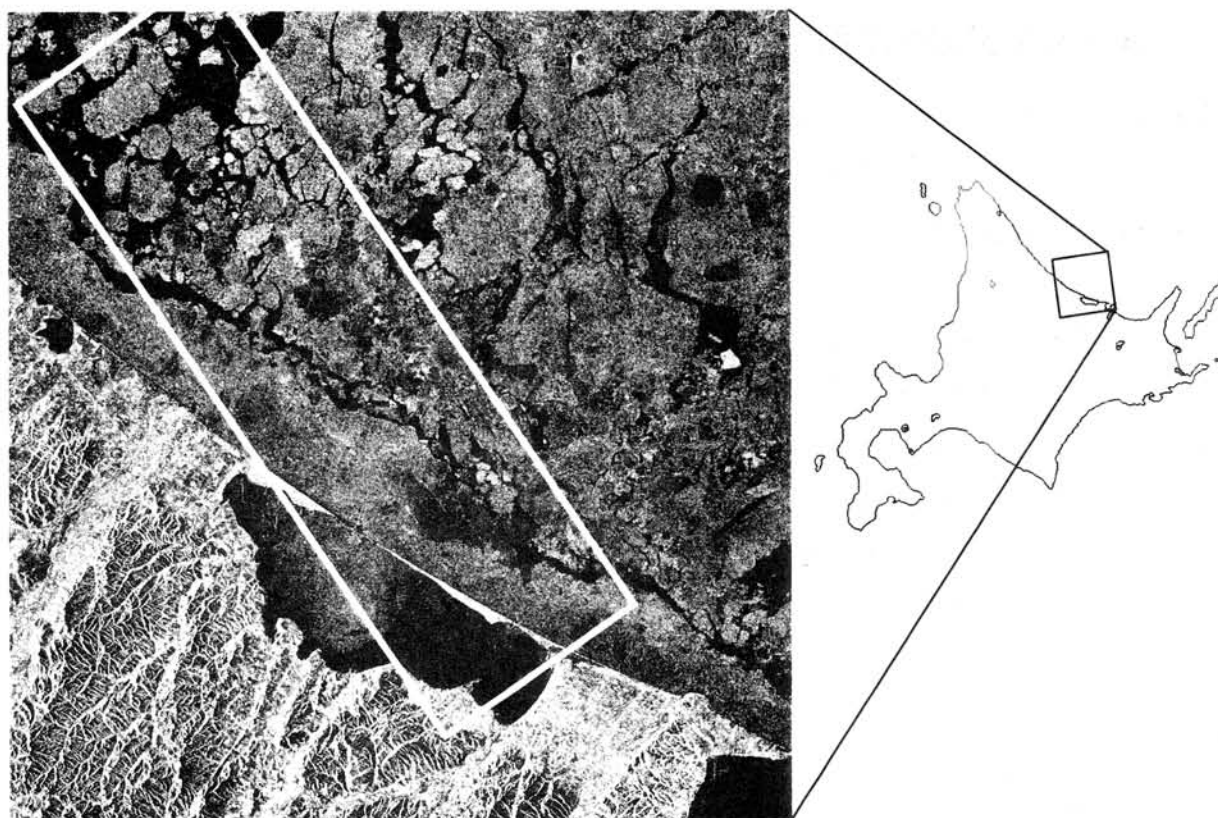
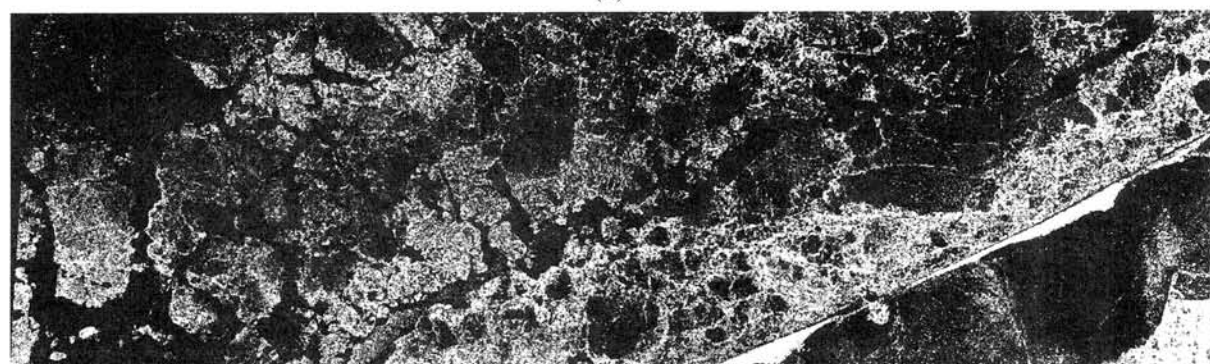
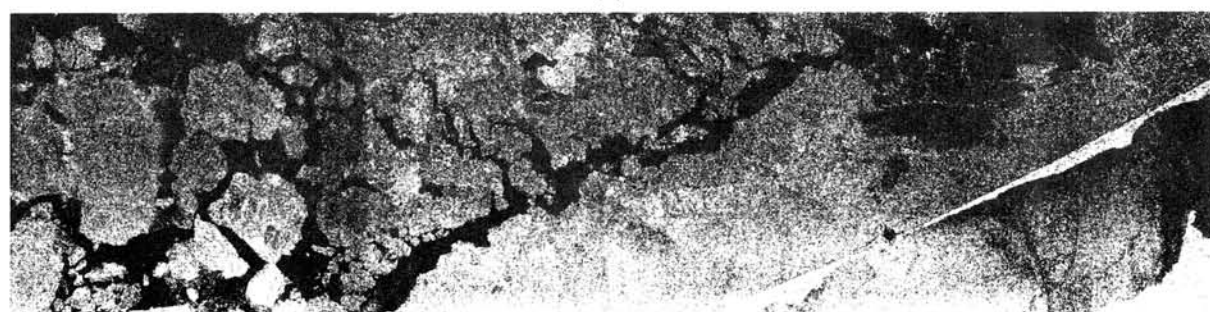


図. 1 北海道オホーツク海沿岸の海水の RADARSAT 画像 (99 年 2 月 23 日, 約 50 km x 50 km)  
中央下はサロマ湖. 白枠は図. 2 の航空機 SAR の観測範囲.

(a)



(b)



↑ レーダ照射方向      → 飛行方向

図. 2 航空機 SAR 画像 (ブラウズ画像, 99 年 2 月 23 日). (a) L-バンド (1.27 GHz), HH, 観測幅 15 km. (b) X-バンド (9.6 GHz), HH, 観測幅 13 km.



## 船舶に搭載したレーザ距離計によるオホーツク海の海水観測（その2）

下田 春人、宇都 正太郎（運輸省船舶技術研究所）

Sea Ice Observation by Ship-borne Laser Distance Sensor in the Sea of Okhotsk (2nd Report)

H. SHIMODA and S. UTO (Ship Research Institute, Ministry of Transport)

In February 1998 and 1999, surface profile measurements of sea ice using a ship-borne laser distance sensor were conducted in the southernmost part of the Sea of Okhotsk. The effect of vessel motion were removed from the laser profiles by Hibler's three-step filtering process. The surface profiles were compared with those obtained by the drill-hole measurements on the deformed ice floes. The estimated sail height showed somewhat lower value but fair agreement with the measured data.

## 1. はじめに

レーザ距離計を用いた海水表面の高度観測は有力な海水観測手法の一つであり、専ら航空機による観測に用いられてきた。船舶による観測を行う場合、砕氷航行中の船体運動によって生じる、比較的短い周期の距離変動を如何にして合理的に除去するかが問題となる。前報及び参考文献[1]では、船体運動の影響が少ないと考えられるデータ区間を抽出し、氷の無い開放水面の平均高度データを差し引くことによってセイル高さを求めた。Haas[2]は南極海において船舶観測を実施し、Hibler[3]の"Three-step Filtering Process"を用いて高度データの補正を行った。そこで本研究ではこの手法を用いて、レーザ距離計による表面高度データに含まれる船体運動の影響を除去した。解析結果を氷盤掘削結果と比較することによって、その有効性を検討した。

## 2. 実験

解析には 98 年及び 99 年の 2 月末に知床岬沖のオホーツク海で観測されたデータを用いた。砕氷巡視船「てしお」の舷側に約 40 度の傾斜角をつけてレーザ距離計を設置し海水表面までの距離を計測した。また氷丘化した大氷盤中に停船した際に船首尾方向に 5m 間隔で氷盤を掘削し、氷厚、積雪深、セイル高さ等を計測した。これらの計測の概要は参考文献[1]に詳しい。

## 3. 結果 (Fig.1)

"Three-step Filtering Process"では原理的に、高度データの極小値の一部とゼロレベルを対応させる。このためレーザ距離計によるセイル高さは氷盤掘削結果に比べると若干、低めの値を与える傾向がある。全体的な凹凸の傾向は比較的良く一致している (Y98-1, -2)。さらに解析を進め、南部オホーツク海の海水セイル高さの統計的性質について発表する予定である。本研究は

海上保安庁装備技術部船舶課との共同研究として行われた。

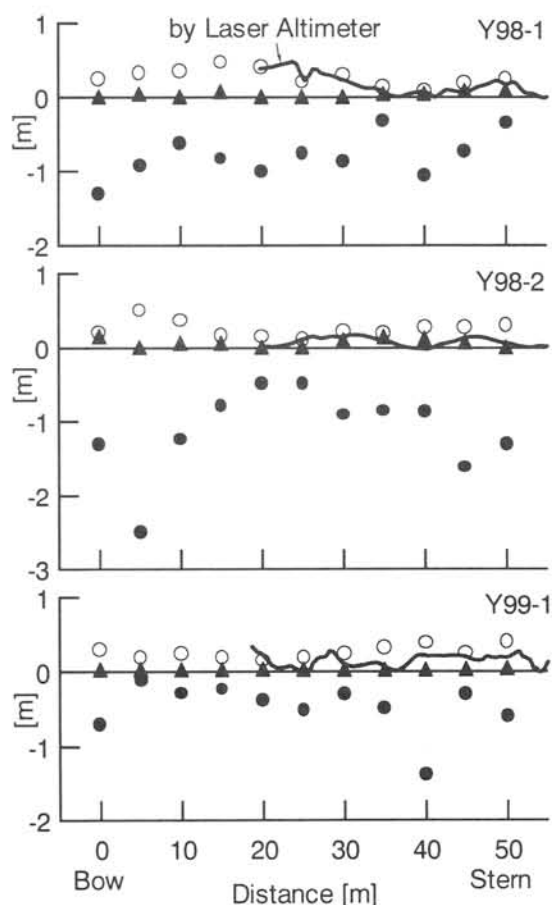


Fig.1 Comparison of Surface Profiles of Deformed Ice Floes

## 参考文献

- [1] 宇都他、第 14 回オホーツク海と流水に関する国際シンポジウム (1999)
- [2] Haas C., Cold Regions Science and Technology, Vol.27 (1998)
- [3] Hibler III W.D., JGR Vol.77, No.36 (1972)

## カナダ海盆における夏季ベーリング海水

島田浩二、畠山清、菊地隆、西野茂人、滝沢隆俊 (JAMSTEC)

Summer Bering Sea Water in the Canada Basin  
Koji Shimada, Kiyoshi Hatakeyama, Takashi Kikuchi, Shigeto Nishino,  
and Takatoshi Takizawa (JAMSTEC)

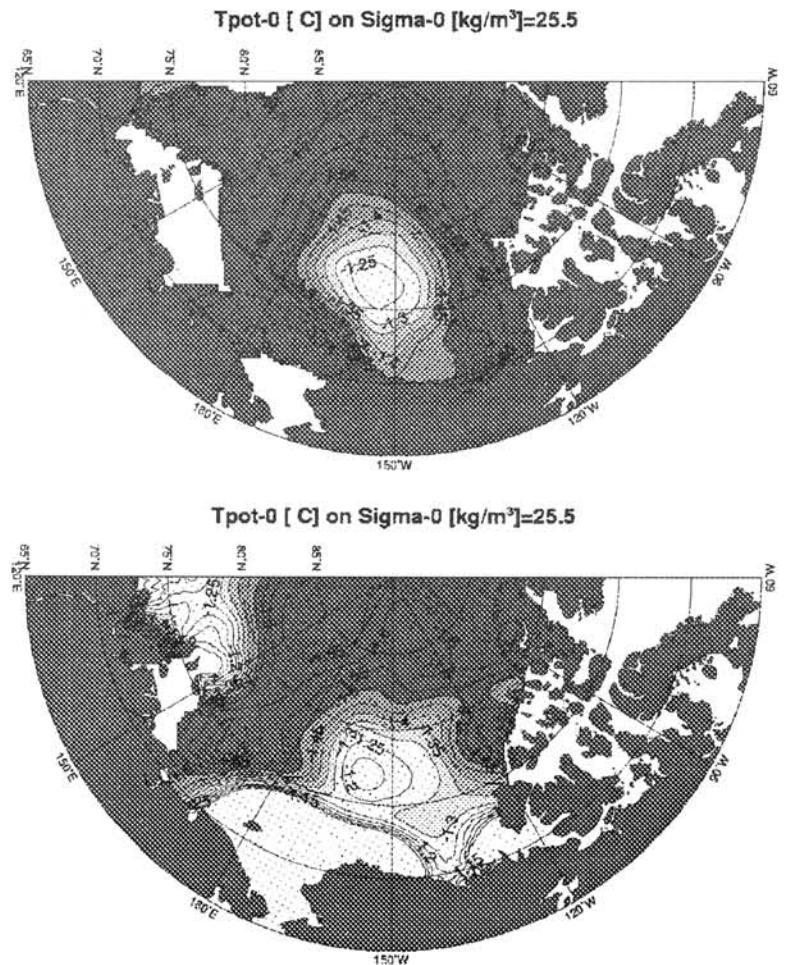
The summer Bering Sea Water (SBW) has been considered as one of major heat source in the western Arctic Ocean. The last ENSO event caused an extraordinary increase in mixed layer temperature in the Bering shelf region. The extraordinary warm water advected into the western Arctic Ocean in fall, 1997. We discuss the behavior of SBW in the western Arctic Ocean using historical (Arctic Ocean Atlas: AOA) data, mooring, drifting buoy and historical data.

### 1. はじめに

北極海カナダ海盆では、混合層直下の上部 cold halocline layer (40-100m 深)に水温極大が存在することが特徴で、その起源は水塊の性質から夏季のベーリング海水にあると考えられている。このような特徴は大西洋側の北極海には見られない。カナダ海盆上部 cold halocline の水温極大は1年を通じて見られ、その温暖であるという性質は越冬し、その影響は海水が再び後退する次の夏にも現れると考えられる。ここでは、historical data (EWG Arctic Ocean Atlas for winter & summer period、以下 AOAWP&AOASP)で、気候学的な夏季ベーリング海水の北極海での分布を調べ、1996 年～1998 年の間に行った係留観測、漂流ブイ観測結果について解析し、夏季ベーリング海水の陸棚域から海盆への移流過程を考察する。

### 2. Historical data

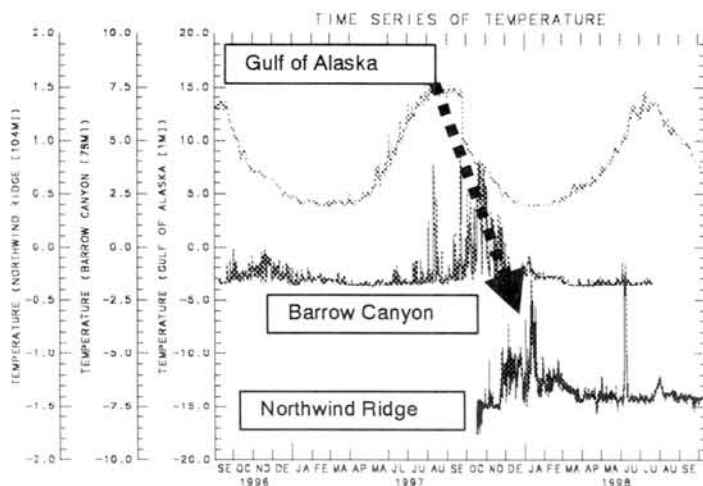
図1は、AOAWP (上) と AOASP (下) における  $25.5\sigma_\theta$  面上のポテンシャル水温分布を示したものである。夏季、冬季のいずれも、 $77^\circ\text{N}$ – $160^\circ\text{W}$  付近に水温の極大が見られることが分かる。この位置は、Chukchi Sea 北縁から北東に伸びる Northwind Ridge 上にある。冬季の分布を見ると、等温線の峰がバロー岬に伸びている様子が分かる。後述する係留観測から、夏季のベーリング海水がバロー付近では9–12月にかけて見られることが分かっている。AOA の冬季データは12月から5月までのデータで構成されているため、バロー付近に高水温場が見られるものと思われる。夏季の AOA を見ると、 $25.5\sigma_\theta$  面に関しては夏季のベーリング海水分布の東端はマッケンジー湾の西約  $144^\circ\text{W}$  にまで及んでいる。つまり、夏季の温暖なマッケンジー川の水は Northwind Ridge 周辺に見られる  $25.5\sigma_\theta$  面上の暖水域の形成には寄与していないものと思われる。実際、マッケンジー川起源の水の密度は夏季のベーリング海水の密度と比較してかなり小さい。以上のことから、上部 cold halocline に見られる水温極大の起源はベーリング海にあり、ベーリング海峡通過後沿岸密度流としてバロー岬付近に達し、その後、陸棚斜面に沿って東に移流される成分(沿岸密度流)、陸棚斜面に沿って西に移流される成分(表層の高気圧性風成循環に取り込まれる)があることが類推される。



【図1】  $25.5\sigma_\theta$  面上のポテンシャル水温分布

### 3. 係留系観測

図2は、アラスカ湾1m深[NDBC BUOY 46001: 56.30 N 148.17 W, 水深4206m]、北極海アラスカ沿岸バーロー沖78m深[Mooring CBE96(観測期間: 1996.9-1998.7): 71.76 N, 155.23 W, 水深247m]、北極海カナダ海盆 Northwind Ridge 東斜面上104m深[係留系 NWR97(観測期間: 1997.10-1998.10): 74.49 N, 158.04 W, 水深1485m]の水温の時系列を示したものである。水温極大となる時期が北に向かうにつれ遅れていることが分かる。



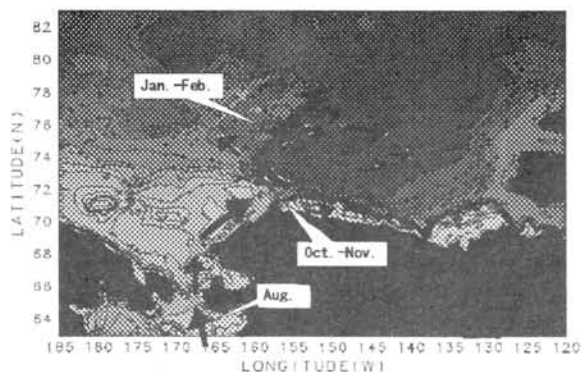
【図2】アラスカ湾1m深、北極海アラスカ沿岸バーロー沖78m深、北極海カナダ海盆 Northwind Ridge 東斜面上104m深の水温の時系列

特にバーリング海東部で異常高温であった1997年の北極海アラスカ沿岸の水温は1996年と比較して著しく高温であったことが分かる。注目すべきは、Northwind Ridge上(北極海外洋)の亜表層(upper cold halocline layer: 表層混合層直下)水温は冬期(1月)に最大となることである。CBE96の78m深とNWR97の104m深では、ほぼ等密度面( $\sigma_\theta \approx 26.0$ )上にある。この2つのCTDセンサー捉えられた $\sigma_\theta \approx 26.0$ 付近の水塊はいずれもバーリング海よりバーリング海峡東部を通過しアラスカ沿岸を北上する Alaskan Coastal Water (ACW)の特性を有し、温度拡散の影響等により両者の水温値は異なるが、同じ水塊であると考えて差し支えないであろう。以上の結果から、夏季バーリング海水の移流経路及び移流時期は図3のようになるものと思われる。

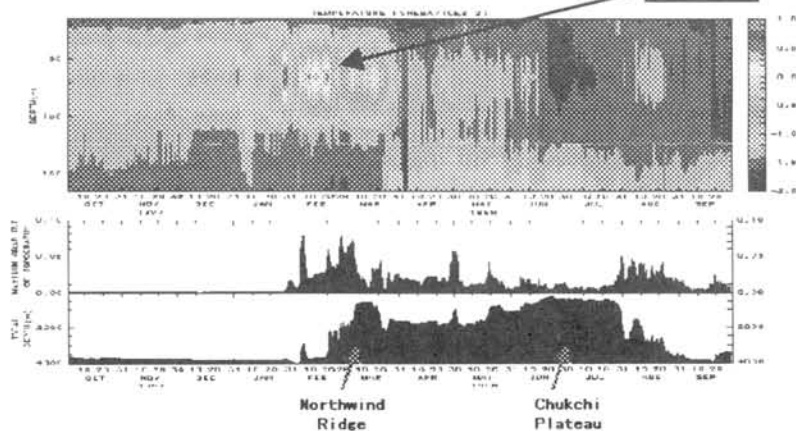
### 4. 漂流ブイ観測

1997年に SHEBA キャンプの南東方に設置した漂流ブイ(10EB)は、設置後西方に漂流し、1998年1月下旬~3月に Northwind Ridge を横切った。図4は10EBによって観測された水温場の時系列である。左側がカナダ沖の Canada Basin に対応し、右側は Northwind Ridge, Chukchi Plateau の海山域に対応する。下の図は、海底地形勾配と深度を示している。冬季であるにも関わらず Northwind Ridge の東斜面上に暖水パッチが見られることが分かる。このことから、Northwind Ridge は、陸棚域にある暖水の外洋への移流通路となっていることが想像される。また、パッチ状に暖水が存在していることから、渦によってバーロー沖から Northwind Ridge に向かって暖水が輸送されている可能性もある。Northwind Ridge を越えると、表層の暖水はほとんど見られなくなることから、Northwind Ridge が夏季のバーリング海水の西側の境界になっていることが想像される。

図には示さないが、10EBに搭載された ADCP データから、深度変化に伴い流向が大きく変化している事実(30m深: 北東向き、70m深: 東向き)が確認された。Northwind Ridge 東斜面上では海水運動は西向きであるにも関わらず、上部 cold



【図3】夏季のバーリング海水移流の模式図



【図4】10EBの漂流軌跡に沿った水温断面図

halocline layer では、等深線に対して時計回りに約45度方向の流れになっていた。この観測事実が時間平均的な事象を示しているとすれば、夏季バーリング海水は Northwind Ridge に達した後、東に移流されるものと想像される。実際、夏季の AOA の水温分布(図1下)を見ると、暖水域は Northwind Ridge から東方に広がっている。Ekman 層の力学、Northwind Ridge に沿った強いフロント構造が上部 cold halocline layer の流れ場を決定するのに重要であると考えられる。

衛星データによる海水データセット整備に関する研究

谷口 悠司、中山 雅茂、長 幸平、下田 陽久、坂田 俊文 (東海大学)

Research on the development of sea ice dataset based on satellite images.

Yuji Taniguchi, Masashige Nakayama, Kohei Cho, Haruhisa Simoda, Tosibumi Sakata (Tokai University)

The appearance of sea ice in satellite images heavily depend upon the observation bands and the IFOV of sensors. The relationship between the real sea ice condition and what can be observed from each satellite images are still not clear. An approach for making sea ice dataset based on satellite images is proposed in this study.

1. はじめに

近年、温暖化現象を知るパラメータの1つとして海水分布変動の観測が注目されている。海水観測における衛星データの有効性は広く知られているが、様々な分解能の衛星データに現れる海水分布パターンと実際の海水の状態の関係はまだ十分に解明されていない。筆者らは、現在、海水に関する様々な衛星データセットの整備の検討を進めている。ここではその第一段階として実施した SPOT/HRV を用いた海水の衛星データセットの試作について報告する。

2. SPOT/HRV を用いた海水の衛星データセット

1996 年 2 月 17 日に観測された北海道網走沿岸の SPOT/HRV 画像を用いて海水タイプを選定し、タイプ別に海水の衛星データセットとして整理した。このデータセットは、使用したシーン全体の画像（デジタルデータ、ハードコピー）、海水タイプ別整理表（後述）及び海水タイプ別切り出しデータより構成される。

(1) 海水タイプ

衛星データを用いた海水のタイプ分けでは、分解能の違いを十分に認識する必要がある。例えば、分解能 20m の SPOT/HRV 画像でシャーベット状に見える海水は地上で観察される一般的なシャーベット状の海水とは必ずしも一致しない。従って、それぞれの分解能における海水のタイプ分けとその対応付けが重要である。今回の作業ではとりあえず SPOT/HRV の画像における海水タイプの名称を、Table1 に示すように仮定した。また、実際に抽出した海水タイプ別の画像例を Fig.1 に示す。

(2) 整理表

整理表は 3 チャンネルのカラー合成の画像と各チャンネルの画像・ヒストグラム・最大値・最小値・平均値・標準偏差を記載した Fig.2 に示す仕様とした。

3. まとめ

今回、仮に SPOT/HRV 画像における海水の分類名を設定した。これをもとにして妥当な衛星画像における海水タイプの選定を行い、海水データセットの整備を進め、衛星データによる海水状態の観測に役立てて行きたい。

Table1 SPOT/HRV における海水の分類

海水タイプ	大きさによる分類	大きさ	解説
水域(Open Water)			海水がなく広い水の領域
薄氷(Thin Ice)			輝度が低いため、積雪していないか、海水の影響を受けていると考えられる領域
氷盤(Floe)	極小氷盤 (Micro)	20m以下	輝度が高いため氷の上に積雪している氷盤であると考えられる領域
	小氷盤 (Small)	20~100m	
	中氷盤 (Medium)	100~500m	
	大氷盤 (Big)	500m~2km	
	巨大氷盤 (Giant)	2km~10km	
	巨大氷盤 (Giant)	10km以上	

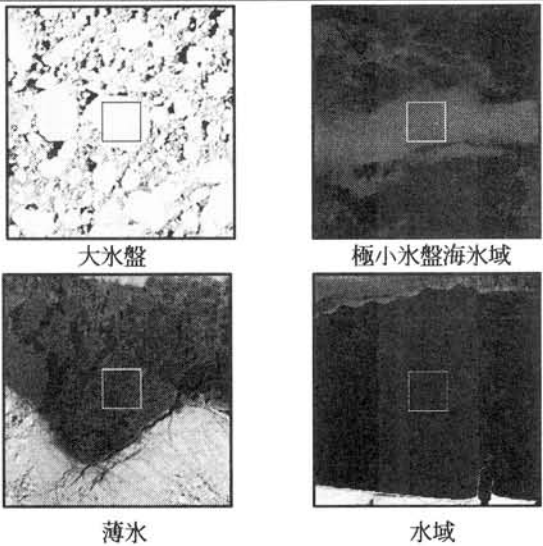


Fig.1 海水タイプの例

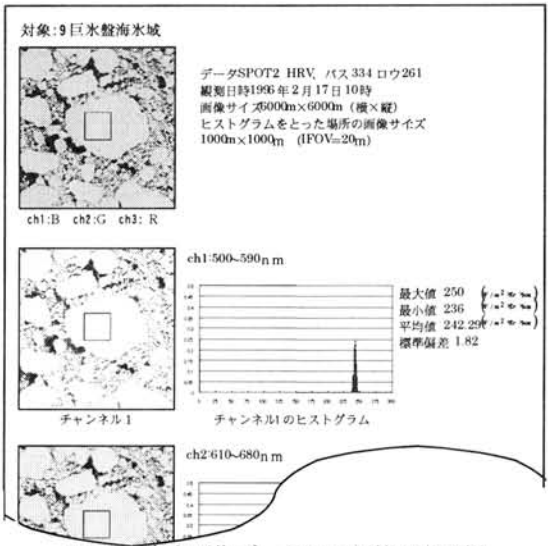


Fig.2 海水画像データセット整理表の例



## 衛星データによる氷床縁辺部の融解過程の観測 榎本浩之 (北見工大)

Satellite Observation on the Melting along the Marginal Zone of the Antarctic Ice sheet  
H. Enomoto (Kitami Institute of Technology)

Melting of ice sheet and fast ice was observed using the satellite data of ADEOS AVNIR data and DMSP SSM/I data. The surface changes were observed by the visible and near infrared images with high spatial resolution, and the time series of melting signal was obtained by the brightness temperature data of 37 and 19/18 GHz. Intensity and duration of melting signal by the microwave data shows slight decrease in the recent years, in the vicinity of Lutzow Holm Bay.

温暖化など気温変化に対する氷床の変動が注目されており、昭和基地付近でも氷河からの融水の観測が行われているが、広域の融解域の観測には衛星観測データの利用が期待される。この研究では、マイクロ波放射計 (Nimbus-7 SMMR、DMSP SSM/I) および可視近赤外分光光度計 ADEOS AVNIR を用いて、リュツオホルム湾周辺での融解域の観測し、衛星観測手法の検討、および近年の変動の解析を行った。

マイクロ波放射計による融解域の観測方法としては、37GHz と 19GHz の差を利用した方法が知られている。図 1 にリュツオホルム湾の定着氷付近の 37GHz と 19GHz 水平偏波の GR (Gradient Ratio) 解析結果を示す。空間分解能は低いものの、毎日の連続データが得られることがこの方法の長所である。GR 値が大きい期間が融解期間に対応すると考えられ、このような解析から融解開始、終了、融解期間の長さの情報が得られる。1987 年 12 月から 1999 年 3 月までの GR を図 2 に示す。値が増加している部分が融解に伴う変化、値が減少しているところは定着氷の流出による開水面の増加である。毎年の融解時期における GR 増加時期についてまとめたものが図 3 であるが、わずかながら融解期間の減少が見られる。1998 年の顕著な減少はリュツオホルム湾の定着氷の流出を示している。

一方、可視近赤外分光光度計 ADEOS AVNIR による観測からは、高い空間分解能 (16m、または 8m) により、詳細な積雪域の観測が可能である。1997 年 1 月 31 日と 2 月 4 日の観測から、裸氷域の中の積雪域の浸水や融雪水流跡、雪原においても水流の跡と思われる筋が観察された。

1997 年 1 月 31 日と 2 月 4 日の ADEOS AVNIR の観測結果の比較から、氷床末端に接した海氷域では急な海氷消耗が起きていたことがわかった。しかし、その沖の定着氷では変化が見られず、海氷消耗は氷床末端部に限って顕著であった。また、露岩上の雪渓などの面積には

の変化は見られなかった。この期間におけるマイクロ波の観測からは、気温の上昇に伴う輝度温度の増加が観察された。しかし、GR の値は減少しており、この手法の検討が必要である。

今回は融解開始や終了の時期のみ注目したが、現地の水文観測データが収集されれば、更に融解の強度の定量化が可能となると思われる。

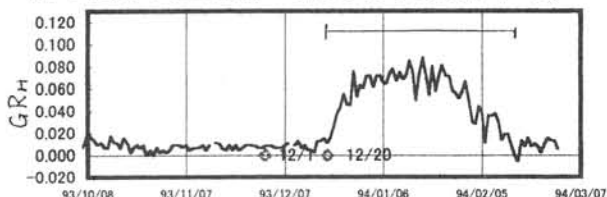


図1 1993年のSSM/I 37GHzと19GHz水平偏波のGR (Gradient Ratio)。GR値が大きい期間が融解期間に対応すると考えられる。12月1日は最高気温が、12月20日は日平均気温が0度をこえた日。

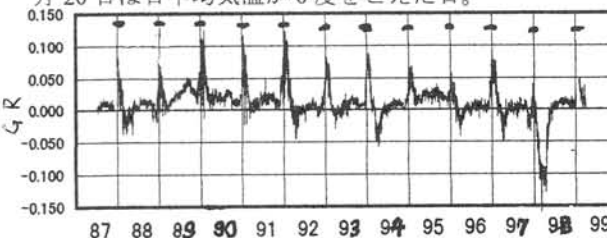


図2 1987年12月から1999年3月までのリュツオホルム湾定着氷のGR。値が増加している部分が融解、値が減少しているところは定着氷の流出による開水面の増加を示す。

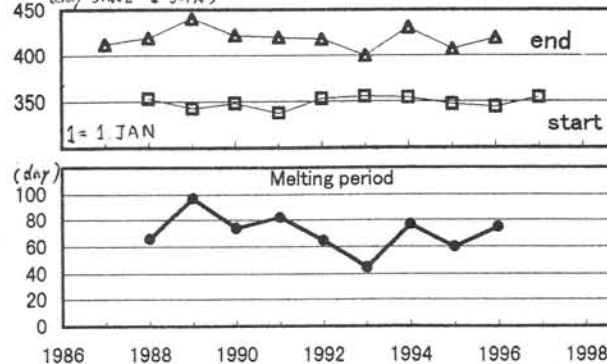


図3 リュツオホルム湾定着氷付近の毎年の融解時期の開始、終了および融解期間の長さ。



## 海氷上の雪氷(snow ice)と上積氷(superimposed ice)の作成実験

河村俊行( 北大・低温研)・佐藤篤司・鎌田慈( 防災科研・新庄)  
石川信敬・滝沢厚詩( 北大・低温研)・松葉谷治( 秋田大・工学資源学部)

Experimental study on the formation of snow ice and superimposed ice on sea ice

T.Kawamura (Institute of Low Temperature Science, Hokkaido Univ.),  
A.Sato, Y.Kamata (National Research Institute for Earth Science & Disaster Prevention)  
N.Ishikawa, A.Takizawa (Institute of Low Temperature Science, Hokkaido Univ.)  
and O. Matsubaya (Faculty of Engineering & Resource Science, Akita Univ.)

We have studied experimentally a role of snow cover on sea ice growth. Sea ice was grown to about 10 cm thick in a tank in Cryospheric Environmental Simulator at Shinjo Branch of Snow and Ice Studies. Then, 15-cm thick snow cover was accumulated on the sea ice and the snow cover was melted with artificial lights. The temperatures in air, snow, ice and water were monitored during the experiments. The ice samples collected were observed crystallographically. The density, salinity and isotopic compositions of the samples were measured.

はじめに 最近の南極での海氷観測において海氷成長におよぼす積雪の寄与が注目されている。それには積雪への海氷の浸透による過程(雪氷を作る、例えば Lange et al, 1990)と積雪の融解が関与する過程(上積氷を作る、例えば Kawamura et al, 1997)がある。この研究はそれらの氷を実験的に作成し、その形成過程と熱的環境を解明することを目的とする。

**実験手法** 科学技術庁防災科学技術研究所新庄雪氷防災研究支所にある雪氷防災実験棟で以下の要領で2回の実験を行った(図1)。用いた実験水槽は内寸 80 X 80 X 60 cm, 厚さ2 cm の透明アクリル製で、それに約 32 ‰ の海水を高さ 50 cm まで張った(図2)。水槽の縁や底からの凍結を防ぐため、それぞれ厚さ 10, 20 cm の断熱材で覆った。

まず、-20°C で、約2 昼夜かけて海氷を厚さ約 10 cm まで成長させた。その後、降雪装置にて7 時間程度かけて海氷の上に約 15 cm の雪を積もらせた。翌日(または翌々日)には約7 時間、日射装置にて積雪表面から高さ約1 m の位置から日射を与え、融雪を起こした。その強度は積雪の表面で 500 ~ 750 W であった。次の日の午後に作成した氷のサンプルを回収した。図3 に実験期間中の主な位置の温度変化と実験の過程を示す。実験期間中、適時水槽の観測窓から結氷状態(成長過程)を観察した。回収したサンプルは北大・低温研で薄片・薄片を作成・観察し、密度・塩分を測定した。さらに酸素および水素同位体比の測定を秋田大学で行った。

**実験結果** 図4 に観測窓からの海氷成長過程を示す。結氷初期に海氷特有の columnar ice が成長し、下層に顕著な樹枝状成長をしていた。降雪および日射による融雪中に granular ice が成長し、さらに表面には snow penitents (ぎざぎざ雪)が見られた。図5 の薄片の写真から、表面より 9 cm に明確な構造の境界があり、上層は granular ice で下層は columnar ice となっている。また、図5 から密度は構造の境界で明確な変化が認められた。上層では約 810, 下層では約 900 kg/m<sup>3</sup>とほぼ一定であるが、最下層では約 700kg/m<sup>3</sup>と急激に減少した。塩分は上層の granular ice で表面の約 0.5 psu から徐々に増大し、granular ice と columnar ice の境界で約 10 psu と極大値を示した。下層の columnar ice では通常の見られる C 型の分布となっていた。酸素同位体比( $\delta^{18}\text{O}$ )と水素同位体比( $\delta\text{D}$ )は共に下層の columnar ice でほぼ一定の正の値を取り、granular ice との境界から表面に向かって徐々に減少しており、積雪の影響を強さを反映していた。 $\delta^{18}\text{O}$ と  $\delta\text{D}$ の関係(図6)では、granular ice と columnar ice で明確に分かれ、granular ice の値は雪と海水の混合よりはむしろ雪と columnar ice の混合と考えられる。

**謝辞** 実験を遂行するにあたり終始お世話になった雪氷防災実験棟オペレータの武田竹志氏に厚く感謝いたします。

**文献** Lange et al., J.Glaciol., 36 (1990); Kawamura et al., J.G.R., 102 (1997)

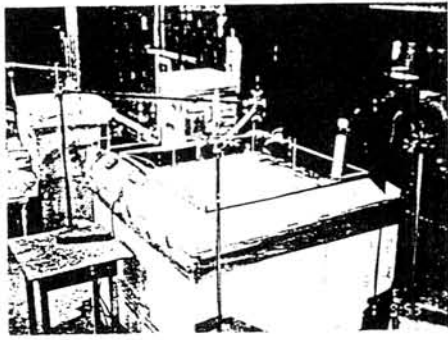


図1：実験状況（水槽と実験室全体）

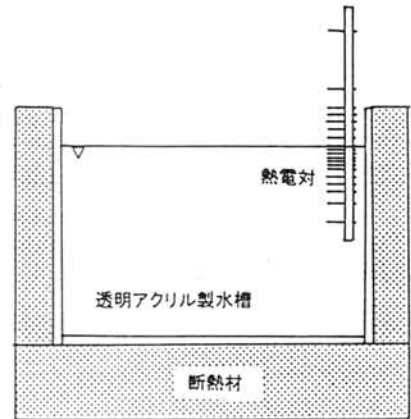


図2：実験装置。熱電対は結氷前の水面を基準として、空中(+7点、水中(-)11点と境界の計19点に設置。

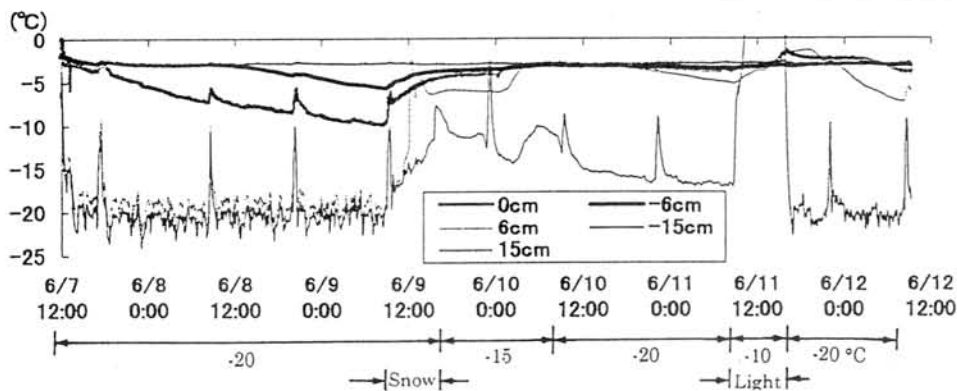


図3：  
主な位置での  
温度変化と  
実験過程

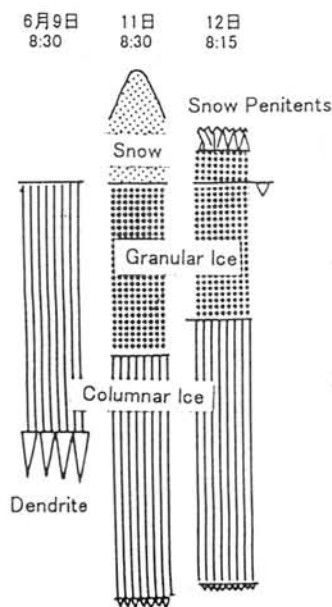


図4：海氷の成長過程

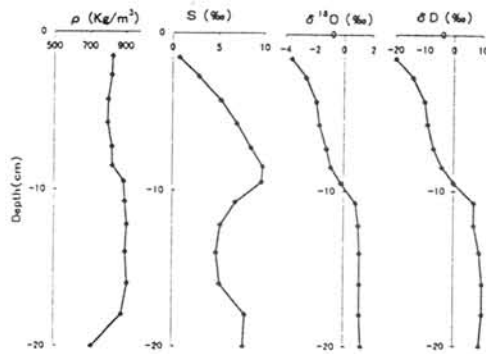


図5：密度・塩分・酸素同位体比( $\delta^{18}\text{O}$ )と水素同位体比( $\delta\text{D}$ )および構造のプロファイル

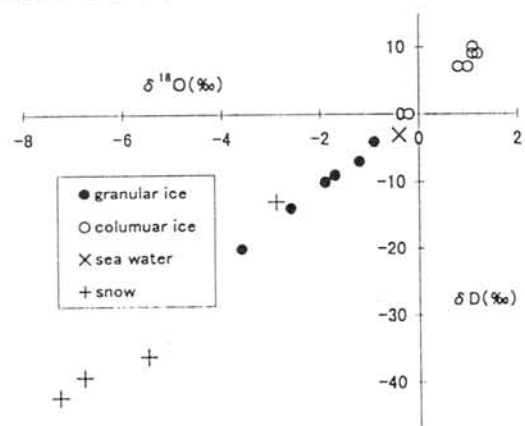


図6：  
 $\delta^{18}\text{O}$ と $\delta\text{D}$ の関係

## 船上ビデオ撮影による広域海水画像の生成

久保 守・轡田 大介・村本 健一郎 (金沢大・工)

### Sea Ice Image Processing Using Ship Mounted Video Camera

Mamoru KUBO, Daisuke KUTSUWADA and Ken-ichiro MURAMOTO (Kanazawa Univ.)

A technique is described for analysis of sea ice distribution over a wide area of ice covered water. The sea ice was photographed from a ship by a video camera. Continuous video images are obtained using geometric transformation and template matching. Because the route of the ship was both straight and curved, template matching is combined into straight and rotary cases. The transformed images are more smoothly connected than using only straight matching.

**はじめに** 南極域の海水状況を広域にわたって把握することは、気候変動に及ぼす影響を調べる上で重要である。広域にわたり均質のデータを得るには、衛星データを利用したりリモートセンシングが有効であるが、地上観測によるグランドトゥースデータとの対比が不可欠である。本研究では、地上観測による広域海水画像の生成を目的として、南極観測船“しらせ”の船上に取り付けたビデオカメラで海水状況を撮影し、画像処理を行った。

**処理方法** ビデオカメラは図1に示すように船の前方下向きに取り付けた。まず、図2に示すように撮影されたビデオ画像を真上から見た画像に幾何変換する。変換後の画像は256画素×256画素である。手前の部分(下部)は解像度が高く、奥の部分(上部)ほど変換後の解像度が粗くなる。次にテンプレートマッチングにより連続した2つのフレーム間の進行距離を計算する。さらに、その位置でテンプレートの角度を変えてマッチングを行い、進行角度を求める。最もマッチする位置と角度で連結することにより、船の進路が左右に曲がっても正確な広域画像を生成することができる。使用したテンプレートは各フレームの下から5ラインの領域である。下部は他の部分より解像度が高く、マッチングに適している。また、角度の探索範囲は $-1.0 \sim 1.0 [rad]$ とした。

**処理結果** 第30次夏隊がブライド湾から昭和基地へ航行中の1988年12月26日に撮影したビデオ映像を処理した。図3はその中の240フレームを処理した結果である。生成された海水画像は左に曲がっているが、このときの船の進路をビデオで確認したところほぼ一致しており、本研究の方法が広域画像の生成に有効であることがわかった。これにより、広範囲にわたる海水状況の定量的解析が可能となり、衛星データに対するグランドトゥースとして活用できる。

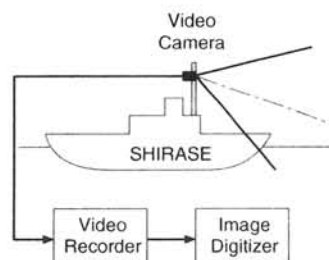


図1: 船上ビデオ撮影



図2: ビデオ画像と幾何変換

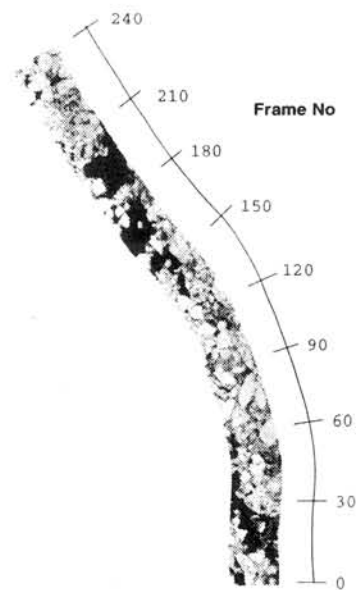


図3: 広域海水画像

## 昭和基地における地上オゾン濃度観測（39次）

堀川和久（与那国島測候所）、江崎雄治（福岡管区気象台 {38次}）、岸隆幸（札幌管区気象台）  
安田毅彦（大気環境観測所）、吹田俊明（秋田地方気象台）、大河原望（気象衛星センター）

## Monitoring of surface ozone at Syowa Station (jare39th)

K.Horikawa (Yonagunijima Weather Station), Y.Esaki (Fukuoka District Meteorological Observatory {jare38th}), T.Kishi (Sapporo District Meteorological Observatory)  
T.Yasuda (Atmospheric Environment Observation Station), T.Fukita (Akita Local Meteorological Observatory), N.Ookawara (Meteorological Satellite Center)

Surface ozone concentration of minimum at Syowa Station is in December. Its maximum is in July, August. A change of surface ozone concentration from maximum to minimum is rougher than an opposite change. While surface ozone concentration changes from maximum to minimum concentration of a south wind is lower than that of a north wind.

## 1. はじめに

本報告では、39次で昭和基地において観測された、地上オゾン濃度の観測結果から得られた1年間の濃度変化について述べる。

## 2. 観測データの処理

観測データは、局地的に汚染されたデータを取り除くために、データセレクションしたものを使用した。

基準は、特別値（時間平均値）作成において、平均に使用するデータ数が半分以上（12秒サンプリングなので150個以上）かつ標準偏差が1.5ppb以下とした。

## 3. 観測結果

図1は、地上オゾンの特別値の年変化をプロットしたものである。

12月に極小期となり、7、8月に極大期となっている。変動幅は、30ppb弱となっている。また、8月末に0ppbを示している観測値があるが、これは地上オゾン崩壊現象が起きたと思われる。

さらに、極小期から極大期に向かうときは、あまりばらつかずスムーズに移行しているのに対し、極大期から極小期に向かうときは、かなりばらついて移行している。

次に、北系の風を海洋からの影響が強いもの、南からの風を内陸からの影響が強いものと考え、北系の風と南系の風に対する月毎の平均濃度を算出した。（北系の風は、16方位でNW～NE、南系の風は、SE～SWである）

図2は、風向別の月毎の平均値をプロットしたものである。

年変化は、ともに特別値と同じ傾向を示している。ただ、極小期から極大期に向かうときは、どちらの風

向もほとんど同じ濃度なのに対し、極大期から極小期に向かうときは、南系の濃度は、北系の濃度より低くなっている。

これらのことから、極大から極小に向かうときは、地上オゾンまたは、オゾン生成物の少ないもの、あるいは地上オゾン崩壊現象を起こす要因となるものが断続的に流入し、北系の風よりも南系の風により多く含まれていることが伺える。

地上オゾンの観測は今次隊で2年目になるが、今後さらなるデータの蓄積をし再考する必要がある。

図1. 昭和基地での地上オゾン濃度

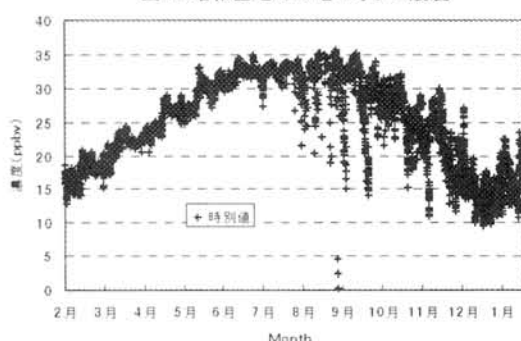
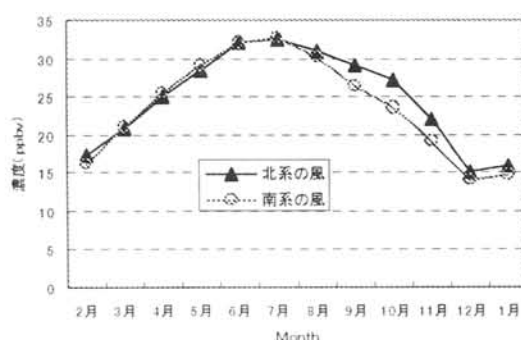


図2. 風向別オゾン濃度の月別値



## 3次元化学輸送モデルを用いた極域オゾンの変動に関する 数値実験

佐々木徹・加藤寿史・赤木万哲（気象庁環境気象課）

### Numerical experiment on variation of polar ozone using a 3-dimensional chemistry-transport model

T. Sasaki, H. Kato, and K. Akagi (Japan Meteorological Agency)

Three-dimensional chemistry-transport model(CTM) was developed at the JMA. By this CTM the arctic ozone variation in 1997 was simulated, though the amount of chemically depleted ozone was not enough. In the model atmosphere the minor constituents suffer larger diffusion than in the real one. Some revision of the model to overcome this problem was tried.

**はじめに** 南極域ばかりではなく、近年北極域でも冬から春にかけて顕著なオゾン減少が見られている。南極域は極渦が比較的円形に発達するのに対し、北極域は惑星波動による蛇行運動が強く、帯状平均場で現象を理解するのは難しい。気象庁は、オゾンの変動過程を明らかにし、全球的なオゾン分布の即時的な把握をめざして、3次元の化学輸送モデルの開発を進めている。ここでは、北極域で大規模なオゾン減少が見られた1997年の春を対象にした実験の結果と問題点について紹介する。

**化学モデル** ここで用いる化学モデルは、NCARで開発され、気象庁（気象研）に移植されたもので、40種の大気成分を考慮し、気相反応に加え極域成層圏雲（PSCs）や硫酸エアロゾル粒子表面での不均一反応を含んでいる。地表およびモデル最上層（10hPa）でソースガスや反応性の窒素総量（NO<sub>y</sub>）、塩素総量（Cly）の混合比が境界条件として与えられる。

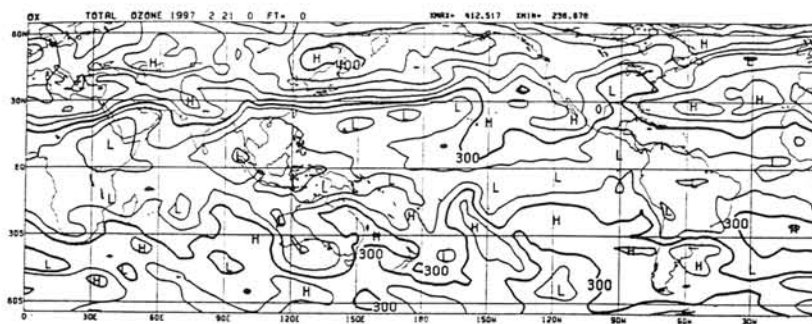
**輸送モデル** 格子点は緯度・経度5度間隔、鉛直16層にとった。鉛直座標は気圧・シグマの混合系である。輸送計算は水平方向にはセミラグランジュ法をとり、鉛直方向には上流差分法をとっている。気象データは、気象庁の数値予報モデルの出力値を使っている。この中で鉛直風は、モデルの出力する非断熱加熱項を用いて導出している。

**実験** 1997年1月1日を出発時点に1ヶ月間、

TOMS データを用いてオゾン全量に関して同化を行い、その後は同化を止めて計算した。現実の大気では極渦の中で、下降流によって上部成層圏からもたらされたと考えられる反応性の塩素濃度（Cly）の上昇が見られる。そこで、モデルでは力学場から計算される渦位を指標として、極渦の中と判断される領域で、上層の大気を下降させ塩素濃度を高める操作をした。

**結果** 2月はじめから北極域では極渦が発達し、モデルではその中の低温域でPSCsの出現が見られた。このPSCs粒子の表面で進行する不均一反応によって、HClやClONO<sub>2</sub>からCl<sub>2</sub>への変換、さらに日照域ではClO<sub>x</sub>への変換が起こり、オゾン消滅反応の進む様子が見られた。しかしながら、PSCsの消滅した後は、ClO<sub>x</sub>からClONO<sub>2</sub>への変換が進んで、観測されたほどのオゾン減少は再現されなかった。

モデルの輸送計算の中で、現実の大気よりも大気成分が速く拡散してしまう傾向が見られる。水平分解能を、5度から2.5度に変えて実験したものの、根本的な解決にはならなかった。気圧-シグマ混合系のモデルでは、惑星波動に伴って大きな上下運動が生じるが、鉛直方向に差分法を使っているために実際より大きな拡散が生じている可能性がある。これを避けるため、鉛直方向にもセミラグランジュ法を使うことや、温位座標系を採用する手法について検討し、結果を報告したい。



CTMにより計算されたオゾン全量分布の計算例(1997年2月26日)



## 昭和基地上空における著しいオゾン減少 (1998 年 9 月～12 月)

安田毅彦・岸隆幸・吹田俊明・堀川和久・大河原望 (気象庁)

### Severe ozone depression over Syowa station (September–December 1998)

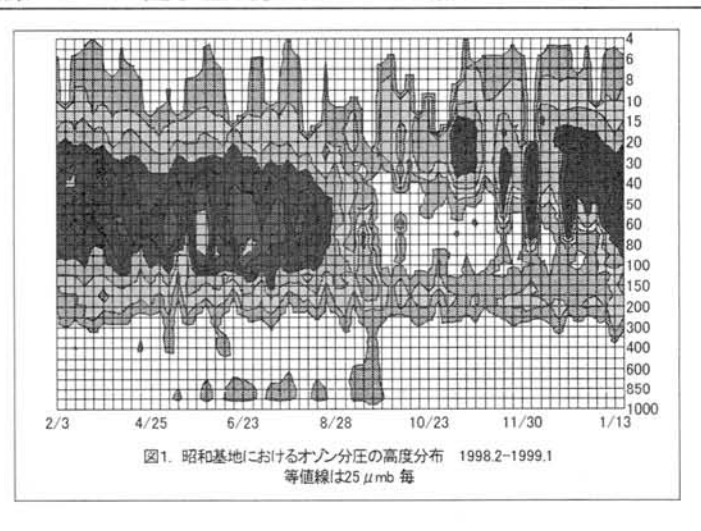
YASUDA T., KISHI T., FUKITA T., HORIKAWA K., OOKAWARA N. (Japan Meteorological Agency)

Ozone sonde observation by the 39th Japanese Antarctic Research Expedition shows ozone partial pressure in the 15–19km altitude layer over Syowa station was lower than  $25\mu\text{mb}$  from October till mid-November, that indicate almost all ozone in this layer was destroyed. Ozone partial pressure in this layer was lower  $100\mu\text{mb}$  from September till mid-December, under the influence of the latest disappeared ozone hole continued until mid-December, where it was almost more than  $100\mu\text{mb}$  before September.

はじめに 第 39 次南極地域観測隊による観測期間中に南極域のオゾンホールが過去最大規模に発達し、また最も遅い時期まで存在していた<sup>1)</sup>。昭和基地は 8 月下旬から 12 月中旬にかけてオゾンホールに覆われ、特に、9・11 月及び 12 月の月平均オゾン全量はその月として観測開始以来の最小値を記録した。この期間中に到達高度が 30hPa 以上に達したオゾンゾンデによる観測データが平均 4.5 日間隔で得られ、高度 100～50hPa (15～19km) においてオゾンがほぼ完全に破壊された状況などが詳細に観測できた。主にオゾンホール発生期間中の昭和基地上空におけるオゾン層の状況について報告する。

**観測装置** 地上から上空のオゾン全量の観測にはドブソンオゾン分光光度計 (BECK119) を用いた。オゾン分圧の高度分布の観測にはオゾンゾンデ (JMA RS II-KC96) を用いた。1998 年 2 月にそれまでのオゾンゾンデ (JMA RS II-KC79) から新型に変更になったが、変更されたのは気温センサー・気圧計・発信部などで、オゾン反応管は変更されていない。気温センサー・気圧計・発信部はラジオゾンデ (JMA RS2-91) と共通で、昭和基地で行われた旧型ゾンデとの比較によれば、これらの間に大きな差は無いが、100hPa より上空では気温の測定結果に  $1\sim 2^\circ\text{C}$  程度の差が認められることが報告されている<sup>2)</sup>。

**観測結果** 1998 年 2 月～1999 年 1 月のオゾン分圧高度分布を図 1. に示す。2 月～8 月中旬までは 100～50hPa 付近 (15～19km) でオゾン分圧は  $100\mu\text{mb}$  以上で推移したが、8 月下旬以降はオゾンホールの影響により急激にオゾン分圧が低くなり、9 月下旬にはそれまでオゾン分圧の極大域だった 100～50hPa 付近で  $25\mu\text{mb}$  以下の極小域となり 11 月中旬まではほぼオゾンが破壊された状態となった。10 月以降 40hPa より上空で徐々にオゾン分圧が増加し始めているが、100～50hPa 付近では断続的に 12 月中旬まで極小域のまま推移し、特に 100hPa 付近のオゾン分圧は 1 月中には  $100\mu\text{mb}$  以上に回復しなかった。12 月の後半にはオゾン全量がオゾンホールの目安である 220 m-atm cm を上回るようになりオゾンホールは解消したと考えられるが、100hPa 付近のオゾン分圧は  $50\mu\text{mb}$  を下回っており、依然としてオゾンが破壊された影響が残った。夏季までオゾンが少ない状態が続いた原因の一つとして、南極域上空の極渦が安定しオゾンの少ない気塊が周囲から隔離されたことによると推定されている<sup>1)</sup>。



1) 気象庁(1999):オゾン層観測報告:1998.

2) 稲川譲・山本義勝・田口雄二・阿保敏弘・居島修(1997):第 35 次南極地域観測隊気象部門報告 1994. 南極資料, Vol. 41, No. 2, 549-588.

## ドームふじおよびH72地点におけるフィレン空気の 微量成分の分布

川村賢二、青木周司、中澤高清（東北大院・理）、橋田元（極地研）、  
鈴木啓助（信州大・理）、山田知充（北大低温研）、藤井理行（極地研）

### Vertical distribution of atmospheric components in firn at Dome Fuji and H72

Kenji Kawamura, Shuji Aoki, Takakiyo Nakazawa (Tohoku university),  
GenHashida (NIPR), Keisuke Suzuki (Shinshu university),  
Tomomi Yamada (ILTS) and Yoshiyuki Fujii (NIPR)

Air samples at different depths in firn were collected at two Antarctic sites, Dome Fuji and H72 in 1998 and analyzed for the concentrations of  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$  and  $\text{N}_2\text{O}$ . At both sites, the  $\text{CO}_2$  concentration decreased with increasing depth, showing the concentration of about 20 years ago at the deepest levels of firn. At Dome Fuji, the convective zone, the diffusive zone, and the non-diffusive zone in firn were estimated to locate shallower than 10m from the surface, between about 5-10 and 95m and below 95m, respectively. The depth of the convective zone at H72 was also found to be shallower than 10m, though the wind is much stronger at H72 than at Dome Fuji.

#### 1・はじめに

フィレン空気を深度別に採集して分析することにより、フィレンの通気状態を知ることができる。すなわち、フィレンでの空気成分の鉛直分布を明らかにし、拡散モデルで解析することによって、氷床コアとそれに含まれる空気との年代差を正確に見積もることが可能であり、氷床コア分析から過去の大気成分の変動を再現する上で、不可欠な情報をもたらす。また、フィレン空気は地上の大気と自由に混合されているわけではなく、深度とともに空気の年代は古くなっていくので、フィレン空気を分析することにより、過去数十年にわたる大気成分の変動を明らかにできる。氷床コア分析と比較した場合の利点としては、フィレン空気は大量に採集することができるので、分析が容易であり精度の向上が期待できる、試料を大量に必要とする成分の分析も可能である、といったことが挙げられる。本研究では、南極のドームふじ基地およびH72地点において、フィレン空気を表層から氷化深度まで採集し、それらの成分分析を行い、フィレンの通気状態について検討した。

#### 2・実験概要

今回使用したフィレン空気採集装置は、1996年にドームふじ基地において40m深までの採集に使用した装置を基本としているが、掘削孔をシールする天然ゴム製のブラッダーの低温での伸縮性を増し、より深い深度での採集を可能にするために、より柔らかいものに改良した。

試料採集は以下の手順で行った。浅層コア掘削用ドリルで目的の深度まで掘削した後、ブラッダーを掘削孔の底部まで挿入し、空気で加圧してふくらませることにより掘削孔の現在の空気とフィレン空気を遮断した。フィレン空気は、ブラッダーを貫通しているプラスチックチューブを通してポンプで地上まで吸引されるが、現在の空気による汚染を避けるために、250lの空気を排気した後、容量1.5lのステンレス製フラスコに約+10kg/cm<sup>2</sup>で加圧採集した。

試料採集は、H72において1998年9月12-23日に、ドームふじ基地において同年12月12-26日に行った。採集されたフィレン空気は、東北大学において現在分析が進められているが、ガスクロマトグラフによる $\text{CO}_2$ 、 $\text{CH}_4$ および $\text{N}_2\text{O}$ の濃度分析は終了し、 $\text{CO}_2$ 、 $\text{N}_2$ および $\text{O}_2$ の同位体比の測定に着手するところである。なお、 $\text{N}_2$ の同位体分析が未だ行われていないので、以下で述べる結果には重力分離の補正を施していない。

#### 3・結果

ドームふじにおけるフィレン空気の $\text{CO}_2$ 、 $\text{CH}_4$ および $\text{N}_2\text{O}$ 濃度を図1に、H72における結果を図2に示す。全ての成分に共通して見られる特徴は、濃度が深度とともに減少していることである。これら気体の大気中での濃度は年々増加しているので、このような鉛直分布は、フィレンにおける空気の混合が分子拡散によって生じており、深い深度の空気ほど年代が古いことを意味している。フィレン空気の $\text{CO}_2$ 濃度と南極点での直接観測の結果を比較し、最も深い深度での空気の年

代をおおざっぱに見積もると、ドームふじでは1976年、H72では1977年となる。

ドームふじにおけるCO<sub>2</sub>濃度の分布を細かくみると、まず10mにおける濃度は地上より多少低くなっている。1996年のフィルン空気の分析結果から、5mにおけるCO<sub>2</sub>濃度は地上大気とほぼ等しく、10mにおいては地上よりも低いという結果が得られている。これらの事実を併せ考えると、雪面から5mないし10m弱までは、地上大気とよく混合されていると推定できる。その下から95mまではゆるやかな勾配で濃度が低下しており、この層では主に分子拡散によって気体が移動していると考えられる。95mを境にしてそれ以下では、全ての成分の濃度勾配が非常に大きくなっており、空気の鉛直混合が著しく妨げられていることを示している。我々は1993年に掘削されたドームふじ浅層コアの一部を以前に分析し、95m深の試料は一見氷化しているように見えたが、空気含有量は完全に氷化したコアの1/4程度しかないことを見いだしている。また今回のフィルン空気採集の際、95mでの吸引抵抗がより浅い層と同様に小さかった。以上のことから、この深度付近では、鉛直方向に通気性がほとんどない層と通気性がある層の互層構造になっていること、あるいは水平方向にも氷化している部分が不均一に存在していることが考えられる。なお、100mでのCO<sub>2</sub>濃度が104mよりも低くなっているが、他の成分がこの深度域で単調に減少していることから、試料の汚染の可能性は低く、実際にこの深度でフィルン空気のCO<sub>2</sub>濃度の逆転が起きているか、試料吸引時に成分の分別が起きた可能性が考えられる。1993年に掘削されたドームふじ浅層コアの分析からは、99m深のCO<sub>2</sub>濃度が712ppmvと異常に高い値を示しており、またこの試料の空気含有量は完全に氷化したコアの2/3程度であった。このことから、空気が気泡に閉じ込められる初期の過程でCO<sub>2</sub>が気泡に濃縮されるか、またはコアやフィルンをポンプで吸引する際にCO<sub>2</sub>が閉じかけた気泡の中にとり残されることが考えられる。いずれにせよ、フィルンの最下部では通気の状態が大きく変化していることが示唆される。

H72の結果を見ると、CO<sub>2</sub>濃度からは、地上大気とよく混合されている層が10m未満であると推定できる。H72はドームふじと異なり強風域であるにも関わらず、よく混合されている層はドームふじと同程度の厚さであることが分かった。フィルンの下部で濃度勾配が大きくなる深度は、CH<sub>4</sub>とN<sub>2</sub>Oについては60mであるが、CO<sub>2</sub>に関してはこの深度で著しい変化が存在するのではなく、40m付近から徐々に勾配が大きくなっている。

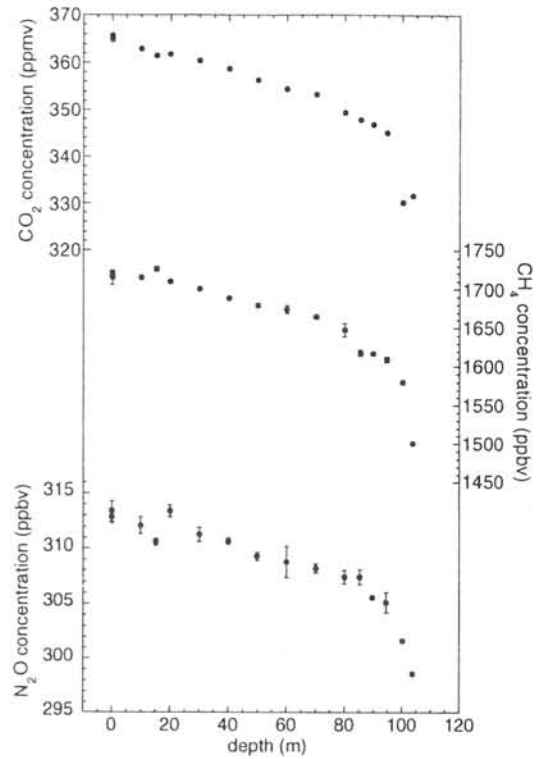


図1 ドームふじ基地のフィルンにおける温室効果気体濃度の鉛直分布。上から順に、CO<sub>2</sub>、CH<sub>4</sub>およびN<sub>2</sub>O濃度を表す

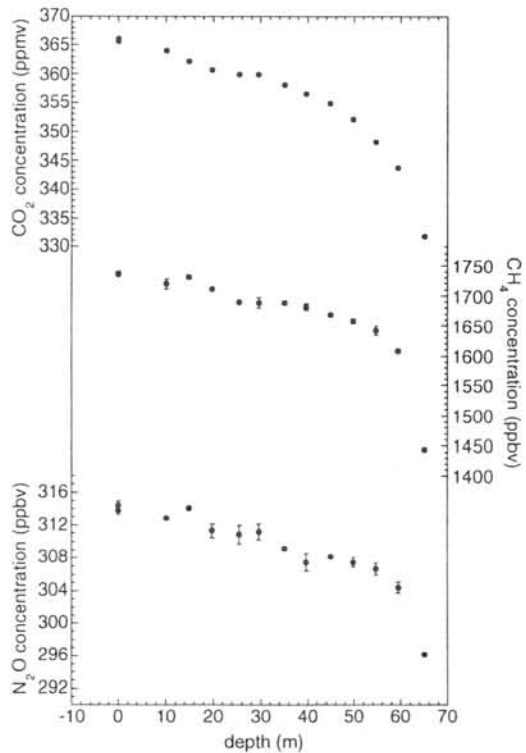


図2 図1に同じ。ただしH72の結果。

昭和基地におけるGrabサンプラー回収気球実験 — 第39・40次隊報告 —

橋田 元、森本真司、山内 恭(極地研)、本田秀之、矢島信之(宇宙研)  
青木周司、中澤高清、岡野章一(東北大学大学院・理)、町田敏暢(環境研)、桜庭俊昭(電子研)

Balloon-borne Grab Sampling in the vicinity of Syowa Station

G. Hashida, S. Morimoto, T. Yamanouchi (NIPR), H. Honda, N. Yajima (ISAS)  
S. Aoki, T. Nakazawa, S. Okano (Tohoku Univ.), T. Machida (NIES), T. Sakuraba (Electrotech. Lab.)

In order to measure the vertical distribution of the concentrations of atmospheric minor constituents in the lower stratosphere, two sets of grab sampling system were launched at Syowa Station on January 18th 1999 by the JARE 39th wintering team in conjunction with JARE 40th. The system is designed to sample the air in a 15 L flask at two different altitudes and to land in safety with the function of shock absorber. Stratospheric air samples were collected at 23, 20, 18, and 15 kms. A He gas handling system and a telemetry system are the same as was used for the cryogenic sampler experiment in Syowa Station on January 1998. A newly developed launching system was able to ease the difficulty of the balloon launching procedure. Given a support of two helicopters equipped to “Shirase”, the sampling system were successfully retrieved on the fast ice which is north northwest of Syowa Station on January 19th 1999.

1. 概要

成層圏下部における微量気体成分の鉛直分布を明らかにするため、第40次隊と合同で、Grabサンプラーを搭載した気球2機を1999年1月18日に飛揚し、翌19日に「しらせ」ヘリコプターの支援を得て、海氷上に着陸した2機のGrabサンプラーを回収した。気球の荷姿・重量を表1に示す。Grabサンプラーは、第37次、第38次夏期の実験で使用した装置と基本的構造において大差はないが、1機のサンプラーに2つの容器が組み込まれ、1機につき2高度での採取が可能となっている点で異なる。

第39次夏期に実施する予定であったが、同時期の「しらせ」行動の変更に伴い、実施を断念した。そして一年後、1999年1月上旬に実施する予定であったが、荒天のため輸送作業が長引き、加えて「しらせ」の行動に変更が生じたため、最終的に実験に当てられた期日は1月17日～19日の3日間であった。

表1 Grabサンプラー搭載気球の構成

	1号機	2号機
試料採取高度	23km, 18km	20km, 15km
気球 (19 m)	20.5 kg	20.8 kg
パラシュート・荷姿 (17.4 m)	1.6 kg	1.6 kg
Grabサンプラー (0.4x0.8x1.2 m)	17.5 kg	17.5 kg
総重量	39.6 kg	39.9 kg
自由浮力 (21%)	8.3 kg	8.4 kg
総浮力	47.9 kg	48.3 kg

2. 放球と追尾

放球はCヘリポート脇の整地路面(通称、滑走路)で行った。各種装置を保管するため、滑走路脇に幌カーブスを置き、これに4m長の単管パイプを固定して風向風速計を取り付けた。ヘリウムガス充填用の装備は第39次隊夏期気球実験と同様の装置を用いた。第40次隊が持ち込んだ簡易放球装置は新規に開発したもので、ガス注入時には気球を2本のローラーで挟み、そのクランプを解除して一気に立て上げて放球する方式の装置である。なおこれは総浮力100kg程度までの中型気球に適応可能である。この装置によりローラー車を使用する必要がなくなり、放球作業は格段に簡略化された。本実験で使用するヘリウムガスカードル(7m<sup>3</sup>ボンベ8本組)はGrabサンプラー1機につき1基であり、3基のカードルを滑走路に配

置した。一方、気球の追尾も第39次隊夏期気球実験と同様の装置を用いて観測棟で行った。放球作業に14名、観測棟における受信に3名、気象棟における受信1名、総計18名が従事した。放球作業および気球の飛揚状況を以下に整理する。

18日 1930LT 関係者集合  
 1945LT シート配置、1・2号機噛み合わせ  
 2040LT 2号機ガス充填開始  
 2119LT 2号機放球(地上風3m/s)  
 2231LT 2号機20km到達、パラシュート降下開始  
 2235LT 1号機ガス充填開始  
 2250LT 2号機着陸(時刻は推定)  
 着陸地点:S68°47'53.7"、E39°23'25.1"  
 2314LT 1号機放球(地上風5m/s)  
 19日 0054LT 1号機23km到達、パラシュート降下開始  
 0140LT 1号機着陸(時刻は推定)  
 着陸地点:S68°41'53.8"、E39°15'57.0"

図1と図2にそれぞれグラブサンプラー2号機の航跡と高度曲線示す。着地地点は昭和基地から北北西方向で直線距離は1号機、2号機それぞれ約36km、約25kmであった。

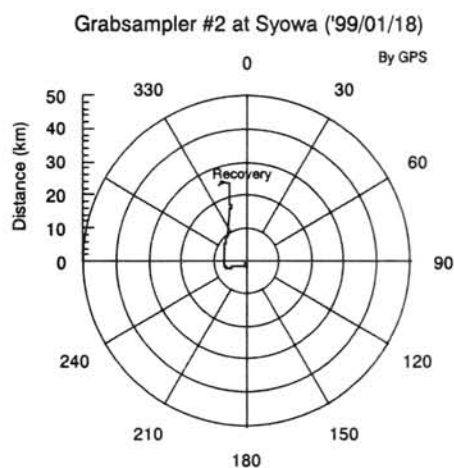


図1 グラブサンプラー2号機の航跡

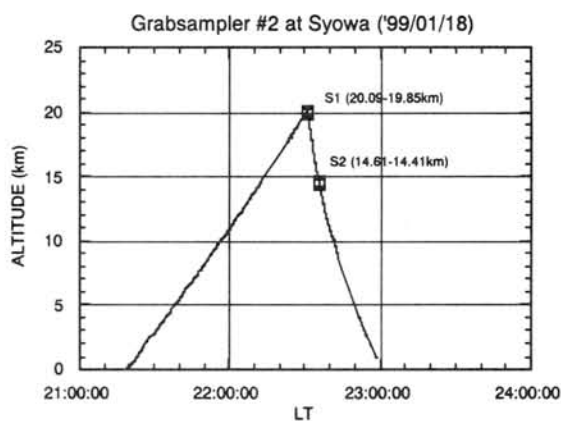


図2 グラブサンプラー2号機の高度曲線

### 3. 回収

回収作業には「しらせ」の大型ヘリコプター2機の支援を得た。2機には、それぞれ、小型受信機によりサンプラーを探索する班(2名)と、地上に着陸したサンプラーを回収する班(4名)が搭乗した。以下に、作業経過を記す。

0755LT: 85機にて搜索班昭和基地発、1号機着陸予想地点に向かう。氷山が密集していない海氷上に着陸しており、発見は容易であった。周辺にマーカー・発煙筒を落とし、2号機の搜索へ向かう。

0815LT: 84号機にて回収班昭和基地発。

0840LT: 84号機は、85機の落としたマーカーを発見し、回収班2名がホイストクレーンでホバリング状態の84号機から地上に降り、サンプラーを廃棄物処理用の袋(タイコン)に収納して、ホイストクレーンで機内へ収容した。搜索班は2号機に取り付けられたレーウインゾンデが発信する電波で方向探索を行う。氷山が密集している海域であったため、着陸地点近辺に到着していても目視確認に時間を要した。

0945LT: 84号機が2号機を発見し、直ちに回収作業を行う。

1000LT: 84号機により回収班昭和基地着。

1005LT: 85号機により搜索班昭和基地着。



## 北極振動 (AO) とプラネタリー波の傾圧不安定の フィードバックについて

田中博・時長宏樹 (筑波大 地球科学)

### Positive Feedback between Arctic Oscillation (AO) and Baroclinic Instability in Planetary Waves

H.L. Tanaka and H. Tokinaga (Univ. of Tsukuba)

In this study, we examined the relation between the intensity of the polar vortex and the linear baroclinic instability, by solving eigenvalue problem for primitive equations on a sphere. According to the comparison for strong and weak polar vortices, it is found that the mono-pole Charney mode  $M_1$  mode, excited by the baroclinicity associated with polar night jet, is intensified for strong polar vortex and is weakened for weak polar vortex. Since the  $M_1$  mode transports eddy westerly momentum poleward, there is a positive feedback between the polar vortex and the  $M_1$  mode in planetary waves. This feedback may be responsible for the appearance of AO which is characterized by two weather regimes of strong and weak polar vortices.

**1. はじめに** 北極振動 (Arctic Oscillation, AO) は対流圏と成層圏で一貫した順圧的な構造を持ち、長周期変動やテレコネクションの研究において近年特に注目されている。本来 AO は気圧場の南北振動として検出されるが、地衡風関係式によりそれは極渦強度と密接に関係している。極渦が強いときには北極海の気圧場は負のアノマリを示し、極渦が弱いときにはその逆になる。極渦強度は成層圏では放射に強く依存するが、対流圏では総観規模擾乱の活動に依存する。振動の構造が順圧的であることから、極渦の鉛直平均場の変動に注目すると、放射よりはむしろ総観規模擾乱の影響が大である。

本研究では、鉛直平均で見た極渦が強いときと弱いときの傾圧不安定を比較し、極渦の強弱と総観規模擾乱の関係を調べた。

**2. モデル** 用いた方程式系は球面座標プリミティブ方程式系であり、それを極渦が強い場合と弱い場合の帯状平均場で線形化して固有値問題を解くことで、不安定モードの違いを解析した。

**3. 結果** 気候値に対する傾圧不安定としては、亜熱帯ジェットの傾圧性に伴って励起される Charney モード  $M_c$  が総観規模スケールで卓越する。他に、 $M_c$  の南北構造が双極となった双極モード  $M_2$  やプラネタリースケールで卓越し、西風運動量を高緯度に輸送する単極モード  $M_1$  が解析される。

極渦が強い場合にはこの  $M_1$  モードが励起され、逆に極渦が弱いときにはこの  $M_1$  は衰退する。極渦だけが存在し亜熱帯ジェットを取り除いた仮想大気不安定を調べた結果、この  $M_1$  モードは極渦 (極夜ジェット) の傾圧性に伴って励起されることが判明し、極渦の順圧成分を強化する特徴が示された。

**4. 結論** 極渦強度と単極モード  $M_1$  の間には正のフィードバックが存在し、両者の関係から粘性大気では極渦が強い状態と弱い状態で平衡状態に達することが示唆された。本研究ではこれが AO の力学的な解釈として可能であることを提唱する。大気の定常固有解が様々な時間スケールの外力に応答して不規則な振動として発現すると考えられる。

## 昭和基地ラジオゾンデ温度観測データに基づく 鉛直波数スペクトルの研究

\*吉識宗佳・佐藤 薫 (京大・理)

### Vertical wavenumber spectra of temperature fluctuations observed at Syowa station

\*Motoyoshi Yoshiki · Kaoru Sato (Kyoto Univ.)

Vertical wavenumber spectrum of gravity waves was examined based on operational radiosonde observation data at Syowa station. Monthly mean wavenumber spectrum of normalized temperature was calculated. Seasonal variation of power spectrum density is large in the small wavenumber region and small in the large wavenumber region. The slope of the spectrum and the ratio of observed spectrum to the saturated spectrum proposed by Smith et al. [1987] show that vertical wavenumber spectrum is as large as the saturated spectrum in November but small in the low wavenumber region in other season. These spectral characteristics are much different from the observations in the low and middle latitude regions.

#### 1. はじめに

前回 (第 21 回) は、1987 年から 1996 年までのラジオゾンデデータを用いて、南極域下部成層圏重力波のエネルギーが、北極域や中緯度と異なり春に極大を持ち、背景場の大気安定度と対応することを示した。今回はラジオゾンデオリジナルデータを用いて、鉛直波数スペクトル解析を行なった。

#### 2. データ

用いたデータは 1997 年 2 月から 1998 年 1 月までの昭和基地におけるラジオゾンデ定期観測データのうち、標準時 0 時と 12 時の温度である。4 秒値データを 50m 間隔に線形補間したものを解析に用いた。

#### 3. 結果

##### 3.1 背景場と擾乱場

図 1 は旬毎の温度  $T$ 、プラントバイサラ振動数  $N^2$ 、重力波の強さ  $T'^2$  の時間高度断面図である。鉛直波長が 6km 以下の温度擾乱のミーンスクエアを重力波の強さと定義した。春 (9~12 月)、高度 15~30km において、温度は高い高度から上昇し、安定度の高い層が下降している様子が見られる。重力波の強さは高度 15~30km において春に最大となるが、安定度の高い層と同様に極大となる時期は低い高度ほど遅くなっている。重力波の強さは 11 月に最大となる。この結果は前回明らかにした 1987~1996 年の統計的特徴と一致する。

##### 3.2 温度の鉛直波数スペクトル

高度 17~24km で、正規化した温度  $\frac{T'}{T}$  の鉛直波数スペクトルを補間データから計算した。Allen and Vincent [1995] に従い、得られたスペクトルに、センサーの応答速度を考慮した補正をおこなった。

図 2 は重力波の強さが小さい 7 月と大きい 11 月について各々月平均した鉛直波数スペクトルである。スペクトルは波数の負の巾乗に比例しているように

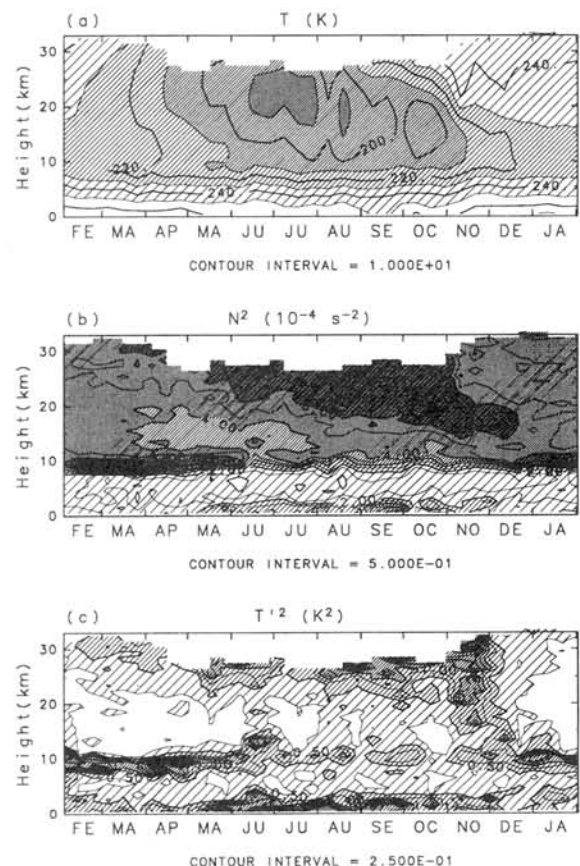


図 1: 昭和基地における (a) 温度  $T$  [K]、(b) プラントバイサラ振動数の 2 乗  $N^2$  [ $s^{-2}$ ]、(c) 重力波の強さ  $T'^2$  [ $K^2$ ] の季節変化

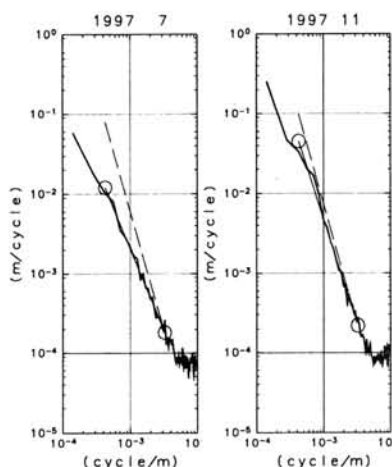


図 2: 1997 年 7 月と 11 月の月平均をした温度の鉛直波数スペクトル。細実線は波数  $4.3 \times 10^{-4} \sim 3.3 \times 10^{-3}$  cycle/m の区間でスペクトルをフィッティングした線分で○が両端である。破線は *Smith et al.*[1987] に基づく重力波の飽和スペクトル。

見える。そこで波数領域  $4.3 \times 10^{-4} \sim 3.3 \times 10^{-3}$  cycle/m (波長 2300 ~ 300 m) でスペクトルを波数の巾乗にフィットし、傾きを求めた。実線はその結果、破線は *Smith et al.*[1987] による、中緯度観測結果をよく説明する、飽和重力波を仮定した理論スペクトル  $\frac{N^4}{10g^2m^3}$  である。

7 月と 11 月のスペクトルを比較すると、高波数領域ではパワースペクトルの大きさに変化が見られないのに対し、低波数領域で 11 月にパワースペクトルが大きくなっている。波数毎の 11 月と 7 月の月平均パワースペクトルの比 (図 3) は、高波数領域でほぼ 1 であるのに対して、 $1 \times 10^{-3}$  cycle/m より低波数領域では 2 ~ 4 になる。

さらにこのようなスペクトルの季節変化を調べるため、フィッティングした直線から計算したスペクトルの傾きの季節変化を図 4 に示した。傾きは 2.1~2.6 で、重力波の強さが大きい 11 月に約 2.6 となり飽和重力波のスペクトルの傾き -3 に近づく。

図 5 は観測された鉛直波数スペクトルと飽和スペクトルの比の対数  $\log F_{\text{obs}}/F_{\text{sat}}$  である。高波数領域では  $F_{\text{obs}}/F_{\text{sat}}$  の季節変化は小さく観測されるスペクトルは常に飽和スペクトルに近い。低波数領域では、 $F_{\text{obs}}/F_{\text{sat}}$  は 1 より小さいが、重力波の強さが大きい 11 月に観測されたスペクトルは飽和スペクトルに近くなっている。

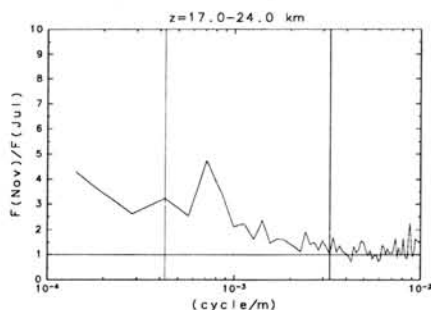


図 3: 11 月と 7 月の波数毎のパワースペクトルの比。

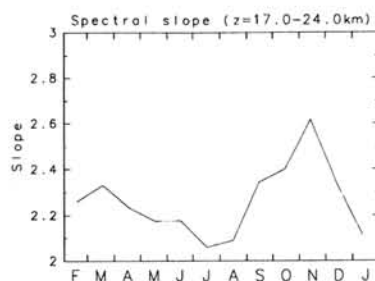


図 4: 観測された温度の鉛直波数スペクトル  $F_{\text{obs}}$  [m/cycle] の傾きの季節変化

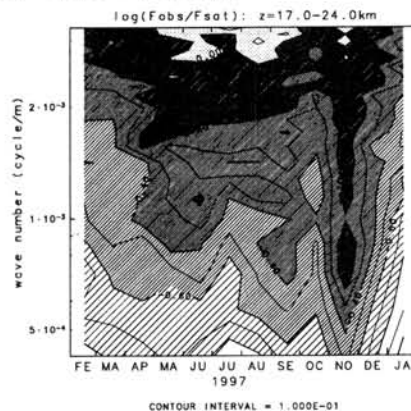


図 5: 観測された温度の鉛直波数スペクトル  $F_{\text{obs}}$  [m/cycle] と、*Smith et al.*[1987] に基づく飽和スペクトル  $F_{\text{sat}}$  [m/cycle] の比  $\log_{10}(F_{\text{obs}}/F_{\text{sat}})$

## 4. 考察

一般にデータ列の自乗平均はパワースペクトル密度の積分に等しい (パーセバルの等式)。昭和基地ではパワースペクトル密度の季節変化は低波数 (長波長) 成分で大きく、高波数 (短波長) 成分で小さい。したがって重力波の強さの季節変化も低波数領域の寄与が大きいことになる。

昭和基地のスペクトルの傾きの平均的な値は中緯度と比べて小さくなっている。*Pfenninger et al.*[1999] により、南極点でも鉛直波数スペクトルの傾きは中緯度より小さいことが示されており、重力波のスペクトル特性は中緯度と南極域で異なっていると言える。

一方で、南極点と昭和基地の間にも重力波のスペクトル特性に違いがみられる。南極点では昭和基地と比べて低波数領域の季節変化が小さく、スペクトルの傾きが最大になる時期も異なっている。南極域重力波のスペクトル特性をもたらし物理過程について検討をおこなう必要がある。

## 5. 今後の予定

今後は水平風データを用いて、重力波の伝播方向や位相速度などの解析を行なう。また重力波の活動度と背景場・背景擾乱を比較し、重力波の活動度を決める物理過程について検討していく予定である。

## 謝辞

貴重なデータを提供して下さった気象庁高層気象台の木津 暢彦氏に感謝します。

## 1997年冬の南極内陸での高気圧域の形成と ドームふじ観測拠点の天候変化

平沢尚彦 (極地研)・中村 尚 (東大理/地球フロンティア)・山内 恭 (極地研)

### **Weather conditions at Dome Fuji Station, Antarctica associated with formation of anticyclone over inland East Antarctica**

N.Hirasawa(NIPR), H.Nakamura(Univ. of Tokyo / Frontier Res.), T.Yamanouchi(NIPR)

Some cases of the sudden change of the weather conditions with surface pressure rise and cloud amount increase were examined in the view point of large-scale atmospheric circulation. The most intensive blocking circulation in June was associated with a quasi-stationary Rossby wave while the pattern of the quasi-stationary Rossby wave was not so clear in other cases.

#### はじめに

南極内陸、特に冬の東南極の主稜線上の天候変化に関する研究は少ない。筆者らは 1997 年に行われたドームふじ観測拠点での越冬観測期間中の 6 月に顕著なブロッキングが東南極上空に形成され、ドームふじ観測拠点での雲量増加、地上気温、地上気圧の上昇等、急激な天候変化があったことを報告した。今回は、この顕著なブロッキングを含めて同越冬期間中 (4 月～10 月) にドームふじ観測拠点での地上気圧上昇、雲量増加を伴う天候の急変時について、南半球規模の大規模な大気循環場の解析を行った。

#### ドームふじ観測拠点における天候変化

図 1 はドームふじ観測拠点における日平均雲量と日平均気圧、及び気圧の 31 日移動平均の時系列である。日平均雲量が 8 以上を記録したのは 7 期間あって、そのうち気圧の顕著な極大 (日平均気圧と 31 日移動平均気圧の差が正) が観測された 6 期間を図の上部に矢印でマークした。ここではこの 6 ケースについて、大気循環場の解析結果を示す。

#### 500hPa 高度場

図 2 には 500hPa の高度場を 6 月のケースと 10 月のケースについて示す。どちらも低緯度側から南極大陸内陸に高気圧域が侵入している。これに伴う南極大陸上の等高線の数値は 6 月のケースの方が多く、地衡風の強さの違いを示している。ドームふじ観測拠点の地上風は 6 月のケースがより強いが、10 月のケースも通常 7 m/s 程度のところ 13m/s に達しかなり強かった。

#### Wave Activity Flux

図 3 には 500hPa における Wave Activity Flux と高度場の偏差を示す。6 月のケースでは南大西洋付近から続く wavetrain が顕著で、それに沿って wave activity flux が見られる。これは、定常ロスビー波に伴うエネルギーの流入、収束がこのブロッキングの生成に関わっていることを示唆している。ところが、10 月のケースでは東南極付近を通る wavetrain パターンは顕著ではなく、wave activity flux も東南極に明瞭に連なるものは見えていない。

講演では、これら複数のケースについて、ドームふじ観測拠点での天候変化の特徴と大規模大気循環場の特徴の整理を行う。

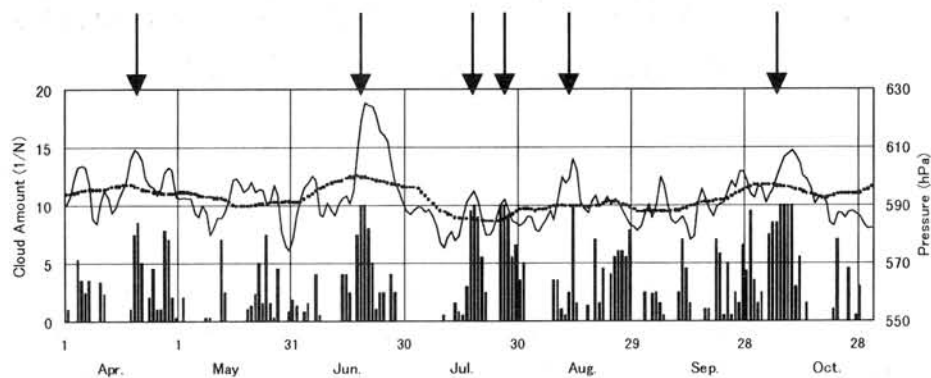


図1 ドームふじ観測拠点における日平均雲量（棒グラフ）と日平均気圧（実線）、及び気圧の31日移動平均（点線）の時系列（1997年4月～10月）。図の上部の矢印は日平均雲量が8以上で気圧の顕著な極大（日平均気圧と31日移動平均気圧の差が正）期間を示す。

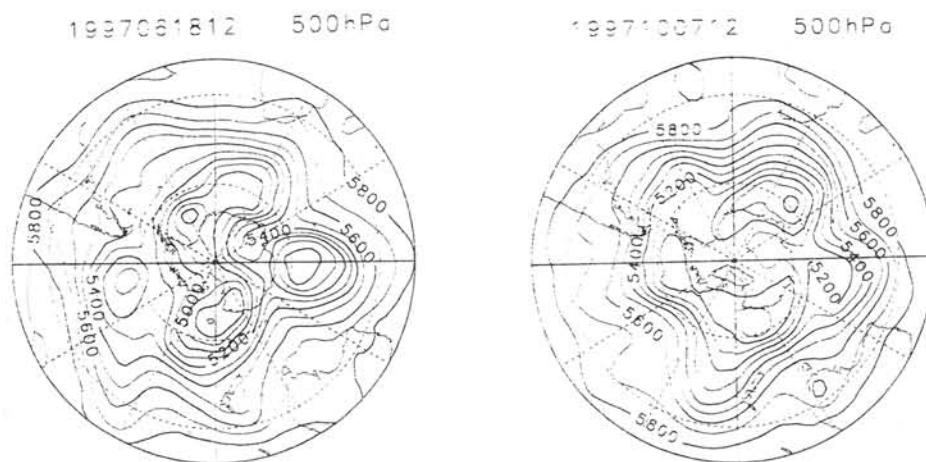


図2 6月(左)と10月(右)のケースの500hPa高度場。

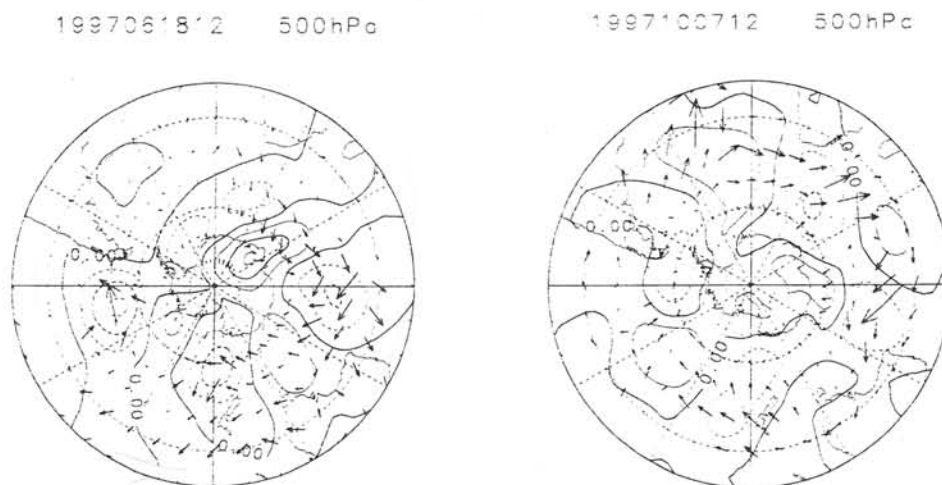


図3 6月(左)と10月(右)のケースの500hPa高度におけるWave Activity Fluxと高度偏差。平均場を31日平均とし、擾乱の場を7日平均とした。高度偏差は7日平均の31日平均からの偏差。



## ECMWF 客観解析データによる 1997 年 6 月の昇温現象の解析

\*初鹿 宏壮・山崎 孝治 (北海道大学大学院・地球環境科学研究科)

Analysis of warming event in June 1997  
by using ECMWF Objective Analysis Data

\*H.Hatsushika and K.Yamazaki

(Graduate School of Environmental Earth Science, Hokkaido University)

The warming event occurred during June 17 to June 18 at the Antarctic Dome-Fuji. ECMWF objective analysis data and sonde data were used to investigate this event. Comparison between the sonde data and the ECMWF data (which interpolated into the Dome-Fuji) shows a reasonable agreement. The temperature increased exceed 15 Kelvin at 400hPa within 1.5 day. The warming was caused by the strong poleward advection of the high potential temperature from the low latitude, which overcame the cooling effect of upward motion.

はじめに

1997 年 6 月 17 日～18 日にかけて Dome-Fuji(東経 39.70, 南緯 77.31) での sonde 観測により 40 度もの地上気温の昇温と雲量の増加が観測された。この昇温はブロッキング高気圧が中緯度から南極大陸に侵入してきた際におこったものである(平沢 1999 など)。今回はこの現象がどのように起っているかを客観解析データを使って調べてみた。

結果

図 1 は 1997 年 6 月中旬における 400, 300, 150hPa の Dome-Fuji の sonde 観測と ECMWF (ヨーロッパ中期予報センター) の客観解析データを内挿して得られたデータによる Dome-Fuji 上空の温度変動である。客観解析が sonde に対し変動を過小評価している部分はあるが、双方のデータは良く似た温度変動を見せており客観解析データでも、特に 6 月 17 日 12 時を中心とした 400, 300hPa での昇温, 150hPa での降温が良く捉えられていることは注目すべきことである。この現象がどのように起っているかを調べるため ECMWF 客観解析データを使い周囲の場の変動について調べた。

図 2 は 1997 年 6 月の Dome-Fuji 上空における等圧面上の温位変動を表わしている。これによると 17 日に下層で温位が急激に上がり始め上層で下り始めていること、その後 18 日 12 時にピークをむかえ 1 週間程度かけて徐々に戻っていることが見て取れる。また、17～18 日は 200～250hPa で特に鉛直温位勾配が緩く、そのレベル付近で大気が不安定である。

Dome-Fuji で昇温が顕著にみられた 17 日 12 時の東経 39.70 度, 南緯 60～90 度の緯度高度断面(図 3) では特に下層の低緯度側に強い上昇流が見られる。アラスカで起こるブロッキングに伴う昇温では下降流の寄与が顕著(田中等 1998)であるが、この事例では逆に上昇流となっており、Dome-Fuji 上空での昇温はアラスカの例とは構造が異なっている。この事例で見られる上

昇流は、ブロッキング高気圧の西側で強い北風が南極大陸を駆け上がるために生じたものと考えられる。この北風は暖かく湿った海洋上の空気塊を南極大陸上に運び、上昇流と相まって雲量の増加をもたらす一方、高温位空気の水平移流により昇温をもたらした。以上のことより、Dome-Fuji の上では上昇流で冷却があるにも関わらず、低緯度からの高い温位の水平移流が下層の昇温をもたらしたことがわかった。また 150hPa については前日に低緯度側で持ち上げられた低い温位の層が水平移流により入り込むことが降温の主因であると考えられる。

まとめ

1997 年 6 月 17 日～18 日にかけて、南極 Dome-Fuji の sonde 観測においてわずか 1 日半の間に下層で 40 度、上空で 15 度を越える大きな昇温が見られた。ECMWF 客観解析データを Dome-Fuji 上に内挿してみると、sonde 観測とかなり類似した結果となった。上昇流による温度降下が期待されるにも関わらず、低緯度側からの高い温位の水平移流が強いため温度上昇が起こることが確認された。

データについて

ECMWF/TOGA の 15 レベル, 12 時間毎のデータを使用し、周囲の 4grid を線形補間することで Dome-Fuji の上空のデータを得た。sonde データは国立極地研究所の平沢尚彦氏にご提供いただきました。ここに厚く御礼申し上げます。

参考文献

- 田中博, 野原大輔, 橋本智帆, 1998: 現実大気の順圧成分に見られるブロッキングの解析的研究, 日本気象学会 1998 年秋季大会予稿集, 74, p123.  
平沢尚彦, 1999: ドームフジ観測拠点における高層気象・放射・雲の観測, 天気, 46, pp147-152.

図1 :Dome-Fuji での sonde 観測と ECMWF データによる 6 月 11 日～27 日にかけての温度変動。ECMWF データは sonde データに比べ下層で低く、上層で高く見積もる傾向に見えるが、急激な温度の変動の様子は良く捉えている。

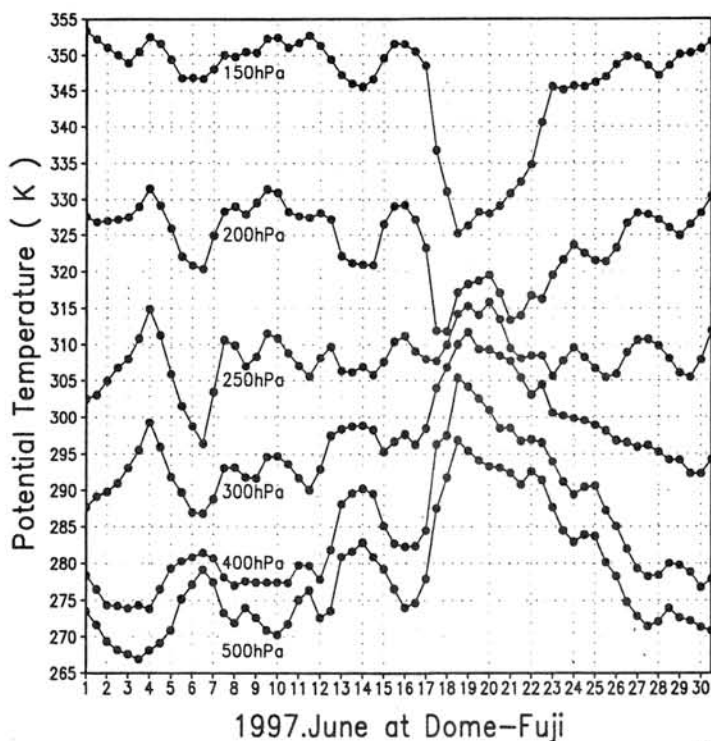
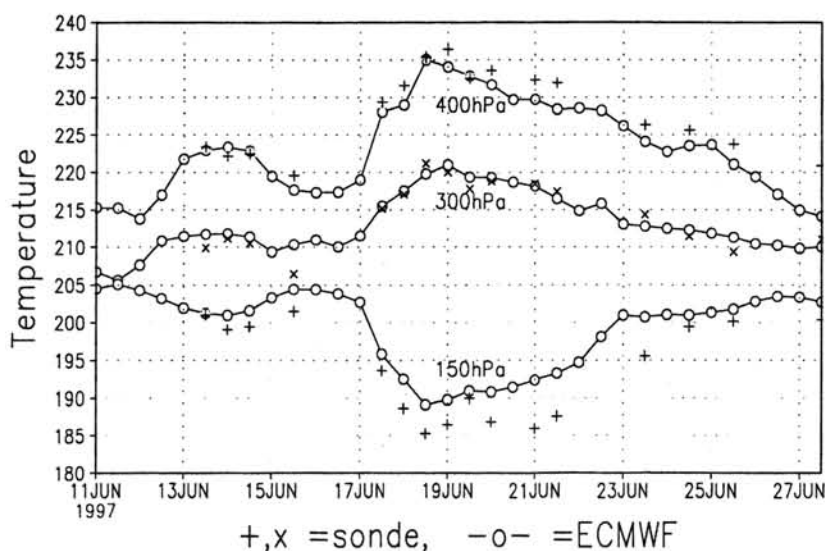
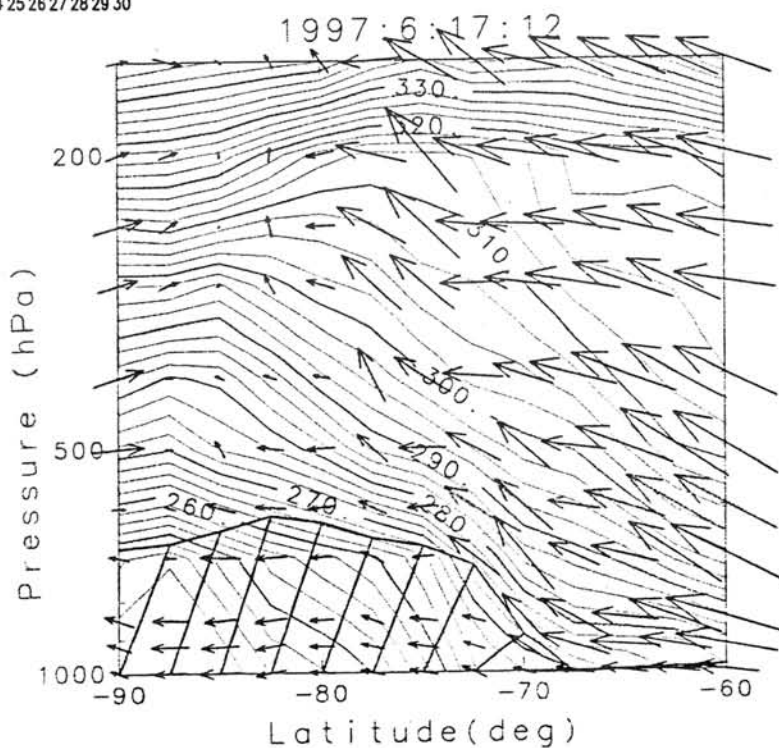


図2 : ECMWF データから求めた 1997 年 6 月, Dome-Fuji 上空における等圧面上の温位。横軸は日付け。17 日から急激な変動が見え始める。18 日 12 時付近に温位のピークをむかえ、そのあと徐々にもとの状態に戻っている。

図3 : 東経 39.70 度における 6 月 17 日 12 時の温位 (実線コンター) と南北風・鉛直 P 速度 (矢印) の緯度・高度断面。太斜線で囲んだ部分は南極大陸を表わしている。ただし矢印は 6 時間の変位を表わす。低緯度側に等温面を横切る流れがみられ、水平温位移流の強さがうかがえる。



衛星搭載マイクロ波放射計の 37GHz データの時系列解析による

南極 Wilkes Land における 1982 の暖気流入の観測

スーディク スィルヴィアン、(北海道大学低温科学研究所)

Time series analysis of the 37GHz SMMR channel over Antarctica : observation of warm spell in Wilkes land, in 1982.

Surdyk Sylviane (Institute of Low Temperature Science, Hokkaido Univ.)

From its nature, the snow microwave brightness temperature is strongly connected to the air temperature, especially the 37GHz vertical polarisation. The relative variation of the brightness temperature shows a very good link with the variation of the air temperature. The study case of an air warm spell temperature observed during the winter 1982 in relation to the relative variation of the snow brightness temperature has been investigated. The results show how remote sensing can be used to observe spatial and temporal extent of air temperature changes.

はじめに 南極における大気気温の長期観測方法は、内陸越冬基地がない地点では、地上での Automatic Weather Station (AWS) が唯一の方法である。さらにこの AWS は大部分が沿岸地域に位置しており、内陸には少ない。一方、マイクロ波放射は雪温と密接に繋がっているため、マイクロ波放射観測が雪温を中継した大気気温の観測の一つの技術である。

方法 37GHz データ、特に V (垂直偏波) の一年間の変化のパターンは、大気気温変化のパターンによく似ている (図 1)。そのためこの

な研究で [Sherjal and Fily, 1994; Shuman et al., 1995] 注目されてきた。気温の絶対値を得るのはむずかしいが、気温変化の観測、つまり、南極全体における表面温度の空間分布や時系列変化は衛星搭載マイクロ波放射計のデータから求めうることである。図 1 で大気気温は上がると同時に 37GHz 放射 (TB) は上がる。これから TB はどういうふうに変化するのを観測して大気気温の変動の空間分布と時系列を解析できる。例として図 2 で「プラス Anomalie」は海岸(経度 120E)から DomeC の方に入り込むのが見える。

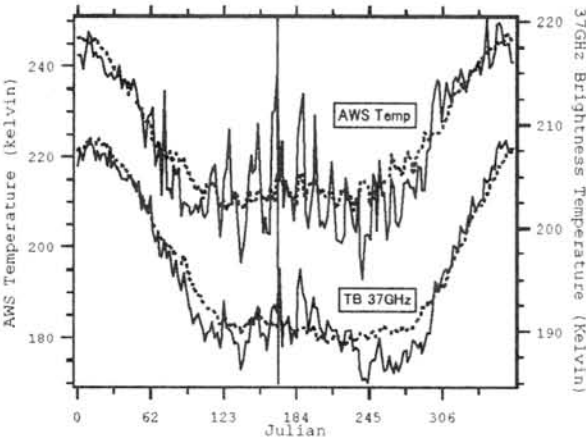


図 1。一年中の Dome CAWS 大気気温と 37GHz マイクロ波放射。黒線は 1982 年のデータ、dottedline は 8 年平均。立て線は 6 月 13 日 1982 年。

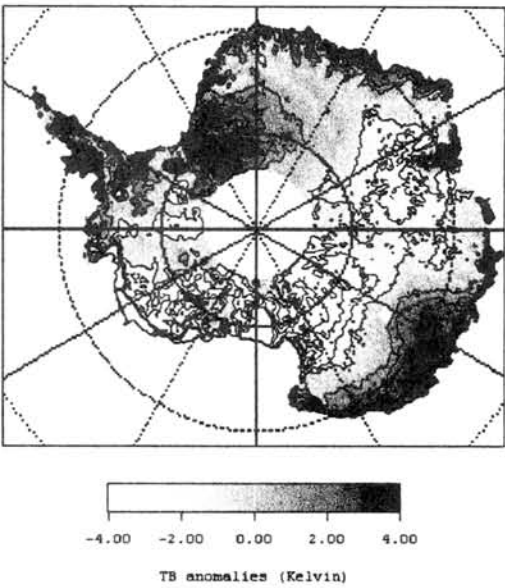


図 2。6 月 13 日 1982 年の南極の TB anomalies の図。白い円は Dome C 基地。

チャンネルは大気気温変化の尺度としている

## スプリットウィンドウ データによる大陸規模での可降水量の推定

\*久慈 誠 (奈良女子大)、岡田 格 (科学技術振興事業団)、内山 明博 (気象研究所)、高村 民雄 (千葉大 CEReS)

### Retrieval of precipitable water in a continental scale using split window data

Makoto Kuji (Nara Women's University), Itaru Okada (Japan Science and Technology Corporation), Akihiro Uchiyama (Meteorological Research Institute), and Tamio Takamura (Chiba University, CEReS)

The algorithm has been developed to retrieve precipitable water in a continental scale using split window data. The retrieval algorithm was applied to the GMS-5 / VISSR data. The retrieved results were rather inconsistent with the precipitable water estimated from radiosonde observation around Japan. The inconsistency seems to be attributed to the less exactness of regressive curve, rather than the influence of the atmospheric temperature at this stage. The method may, however, be applicable to NOAA / AVHRR data which has also split window channels so as to compare the results from both satellite / sensor data.

#### 1. はじめに

地球上で最大の温室効果気体の一つである水蒸気の分布・変動を把握するには、人工衛星による観測が有効である。本研究では、観測頻度の高い実用気象衛星である GMS / VISSR のスプリットウィンドウデータを用い、可降水量を導出することを目標としてアルゴリズム開発を進めている。

#### 2. 解析に用いたデータと解析方法

解析には 1997 年の GMS-5 / VISSR のデータを用いた。また、可降水量の、参照・検証データとして、高層気象観測データを用いた。解析の方法は Iwasaki (1994) を参考に Split Window Variance Ratio (SWVR) 法を用いる。

今回は、まずモデル大気を仮定し、SWVR の計算を行い、可降水量に対する感度を調べた。尚、計算の際、水蒸気の連続吸収のみならず、水蒸気の線吸収、その他の気体の寄与も考慮に入れた。また、VISSR のスプリットウィンドウの response function 重み付けを行ってある。

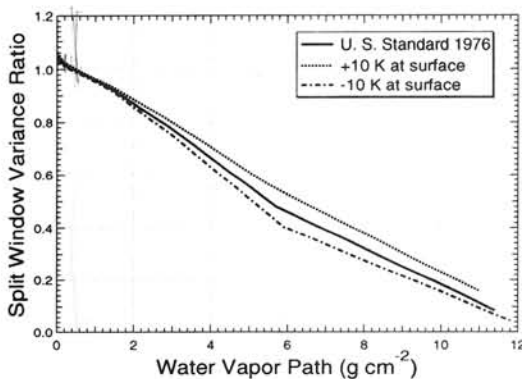


図1 SWVR(縦軸)と可降水量(横軸)の関係。大気モデルは、LOWTRAN 7 に組み込まれている U. S. Standard 1976 (以下、USS76) を仮定した。地表面温度は、温度範囲が 285K から 295K 迄の 1 様分布を仮定した。実線は USS76 の場合であり、また、破線(一点鎖線)は

USS76 の表面気温を +10K(-10K) だけ増加させた時の割合を、プロファイル全体に乗じた場合である。

図 1 より、衛星データからの推定量である SWVR は可降水量に対して、確かに感度をもつことが分かる。また、可降水量が  $2 \text{ g cm}^{-2}$  よりも大きくなると、気温に対する依存性が現れてくる事が見てとれる。

そこで、この気温の影響を考慮に入れて、可降水量推定の精度を向上する工夫を行った。基本的には、Iwasaki (1994) に準拠するが、主たる条件は次の通りである：水蒸気の体積混合比は一定とし、気温を変化させることで、水蒸気量を変化させる。尚、気温プロファイルは、表面気温の変化の因子を全高度に乗じることで、現実の気温に近づけるようにした。

#### 3. 解析結果と今後の課題

結果として、大気プロファイルの影響を考慮に入れたにもかかわらず、推定精度はほとんど向上せず、その推定誤差は  $1.6 \text{ g cm}^{-2}$  程度であることが分かった。

このことから、VISSR のスプリットウィンドウデータ場合、気温の影響を考慮に入れるよりは、SWVR 法における回帰曲線をより精密に求めた方が、可降水量の推定精度の向上にとって、より現実的であるということが示唆された。

今後の課題としては、SWVR 法における回帰曲線をより現実的なものにする、そして新たに得られた地表面温度の情報を現場観測と比較検証すること、等が考えられる。また、やはりスプリットウィンドウを有する NOAA / AVHRR 等とも相互比較を行っていききたい。

#### 参考文献

Iwasaki, H., 1994: Estimation of precipitable water over land using the split-window data from the NOAA satellite. *J. Meteor. Soc. Japan*, **72**, 223-233.



# 北海道湧別沖における海水の厚さと漂流速度の係留観測

深町 康 (北大低温研)・水田 元太 (北大地球環境)

大島 慶一郎・若土 正暁・青田 昌秋 (北大低温研)

## Mooring measurement of ice thickness and velocity off Yubetsu, Hokkaido

Yasushi Fukamachi (Inst. of Low Temperature Science, Hokkaido Univ.),

Genta Mizuta (Graduate School of Earth Environmental Science, Hokkaido Univ.),

Kay I. Ohshima, Masaaki Wakatsuchi, Masaaki Aota

(Inst. of Low Temperature Science, Hokkaido Univ.)

Sea-ice thickness (draft) and velocity were measured by a mooring array deployed six miles off Yubetsu, Hokkaido from December 1998 to March 1999. The array consisted of an Ice Profiling Sonar (IPS) to measure ice draft and an Acoustic Doppler Current Profiler (ADCP) to measure ice and water velocity. The ADCP data show that ice velocity correlates well with surface wind in Mombetsu when northwesterly prevails. The IPS data show that average ice draft increases from 0.3 m in mid-February to 0.7 m in mid-March.

### 1. はじめに

海水量を見積もるためには、その面積に加えて厚さを知ることが必要である。海水面積については衛星等によるリモートセンシングデータによって詳しく調べることが可能であるが、厚さについては、リモートセンシングによる計測が困難なため、データは非常に限られているのが現状である。今回観測を行なったオホーツク海の北海道沿岸域においても、海水の分布については北大流氷研のレーダーデータなどで良く調べられているが、氷厚については数少ない目視やサンプリングによる現場観測データが存在するだけである。

### 2. データ

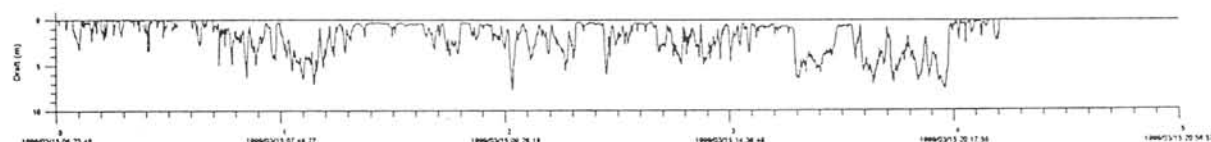
1998 年 12 月から 1999 年 3 月の期間に、オホーツク海の北海道湧別沖 6 マイルの地点 (144°39'E、44°20'N、水深 58 m) において、係留系を設置し、海水の厚さおよび海水・海洋の速度の観測を行なった。係留系の設置・回収に際しては、湧別漁協および三洋テクノマリンにご協力頂いた。上記の期間のうち、係留点付近が海水に覆われていたのは 2 月中旬以降である。氷厚の測定には Ice Profiling Sonar (IPS、カナダ ASL Environmental 社製 IPS4) を 1 台、海水・海洋の速度の測定には、Acoustic Doppler Current Profiler (ADCP、アメリカ RD Instruments 社

製 WH-300) を 1 台使用した。IPS は、420 kHz の超音波のエコー時間を利用して、喫水以下の海水の厚さ (draft) を計測するものである。また、海水速度の測定には、海洋速度を測定する water track ではなく、通常は船舶から対地速度を測定するために用いられる bottom track を用いた。この他にも、水温・塩分を 2 台ずつの伝導度・水温計と水温計で計測し、全ての測器について良好なデータが得られた。

### 3. 結果

ADCP によって得られた海水の漂流速度を、気象庁の紋別測候所で得られた地上風のデータと比較したところ、北西季節風が強い場合に対応が良く、南東向きに 100 cm/s 程度の大きな流速が見られた。また、海洋中の速度の鉛直プロファイルについては、ほぼ順圧的で、日周潮の成分が卓越していた。

IPS では一定時間毎 (1 秒間) に直上にある海水の draft を計測したが、その速度は絶えず変動しているため、ADCP による漂流速度を考慮に入れて、一定距離毎についての氷厚を計算した。下図に示したのは、このようにして求めた氷厚データの例である。このデータについて、海水が係留点付近に現れた 2 月中旬以降で数日間ずつの平均の draft を計算したところ、2 月中旬には 0.3 m であったものが、3 月中旬には 0.7 m にまで増加していた。



図：ADCP によって得られた海水の漂流速度を用いて、一定距離毎に計算した氷厚データの一例。横軸は 3 月 15 日 6:23 から 20:58 までの 5 km の区間を、縦軸は 0 から 10 m までの draft を示す。



## オホーツク海南部で採取された特徴的な薄い氷についての室内実験

豊田 威信, 河村 俊行, 若土 正暁 (北大低温研)

Laboratory experiments on the characteristic nilases sampled in the southern Okhotsk Sea

T.Toyota, T.Kawamura and M.Wakatsuchi (Hokkaido Univ. ILTS)

During the sea ice observation in the southern Okhotsk Sea in 1996 and 1997, we found out characteristic nilases in which the C-axes of the crystals are almost vertical with the thickness of about 1 cm. Since such structures of sea ice have not been reported before, we performed laboratory experiments to examine what kinds of conditions caused such structures. In the experiments, we investigated how much the vertical C-axis layer (VCL) could develop under different conditions of temperature and salinity. As a result, it is shown that less saline water is needed for the VCL to develop up to one centimeter. On the other hand, it is suggested from the heat budget calculation that melting can occur due to abundant solar radiation in this region. This means that the melted water can produce less saline water and affect the nilas structure. Thus the observed ice structure may be one of the features in this region in that a melting process affects sea ice structure even in mid-winter.

1. はじめに　これまで約4年間にわたって行われてきたオホーツク海南部海氷域における海氷観測の中で、1996,97年に全層にわたってC軸がほぼ鉛直な氷厚約1cmのニラスが発見された(図1)。従来、海水を静かに凍らせたときに海氷の極表層にC軸が鉛直な層が生成されることが知られていた(e.g. Weeks and Ackley, 1986)が、その厚さは高々数ミリ程度に限られており、今観測のように約1cmに達した構造はこれまで報告例のないものであった。そこで、どのような条件の時にこのような海氷が生成されるのかを室内実験により更に詳しく調べてみることにした。

2. 実験方法　C軸が鉛直な層の厚さに影響を及ぼし得るパラメータとしては温度(成長速度)と塩分が考えられる。そこで、異なる海水塩分(8,17,25,34psu)を持つ幅30cm、水深60cmの4つのタンクを用意して異なる温度条件(-10, -15, -20℃)のもとでいずれも静穏な環境で結氷させた。タンクは側面や底面からの結氷を避けるために厚さ10cmの断熱材で覆い(図2)、表面から静かに結氷できる環境を整えた。海氷生成に伴う母海水の塩分濃度の変化は6時間毎に採水してモニターし、氷厚の変化はタンクの側面に取付けた目盛りから直接読み取った。氷

厚が約4~5cmに達した段階で海水を切り出し、薄片解析により各々の海氷の構造を調べた。表面付近のC軸が鉛直な層の厚さは鉛直断面の薄片資料から1cm間隔で測定して平均することにより求めた。確認のため実験は各々2度繰り返して行った。

更に、考え得る状況と対応させるため、32psuの海水を一旦約2cm厚まで結氷させた(夜間結氷)後に融解させ(日中融解)、再度結氷させて(夜間結氷)海氷の結晶構造がどのように変化するかについても調べた。

3. 結果　3つの温度設定のうち、-10℃は成長速度が1.5cm/12hourでオホーツク海南部の夜間の結氷速度とほぼ等しいと見積もられるので、その実験結果はこの海域のモデルケースと考えられる。従って、-10℃の結果を基準としてまとめた実験結果を図3abに示す。これらの図から、C軸が鉛直な層が成長し得る厚さは、1) 温度条件よりも海水塩分に対する依存性が高いこと、2) 観測された約1cmの厚さまで発達するためには、低塩分水が必要であること、が分かる。一方、熱収支解析の結果から、この海域においては、日中融解により表面付近に低塩分水が形成され得ることが示唆されるた

め、この低塩分水がニラスの構造に影響を与えた可能性が高い。実際、通常塩分の海水を一旦薄く結氷させた海水を融解させてから再度凍らせた実験の結果においても、一度目の結氷ではC軸が鉛直な層は  $4.31 \pm 1.41$  mm であったのが、二度目の結氷時には  $10.43 \pm 4.85$  mm にまで達しており、上に述

べた過程が実際に起こり得ることを裏付けている。海水の構造が融解の影響を受けているという点で、これもこの海水域の一つの特徴と考えられる。

謝辞 船上で海水試料の採取にあたっては、海上保安庁巡視船「そうや」の乗組員の方々にお世話になりました。

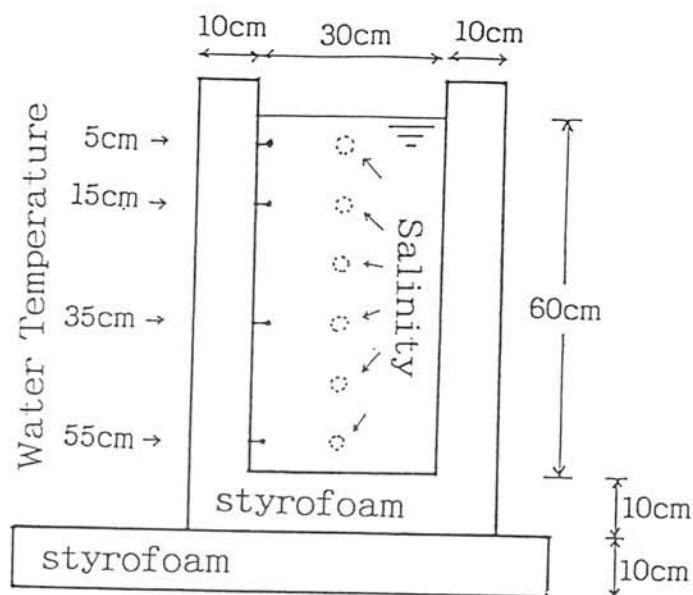
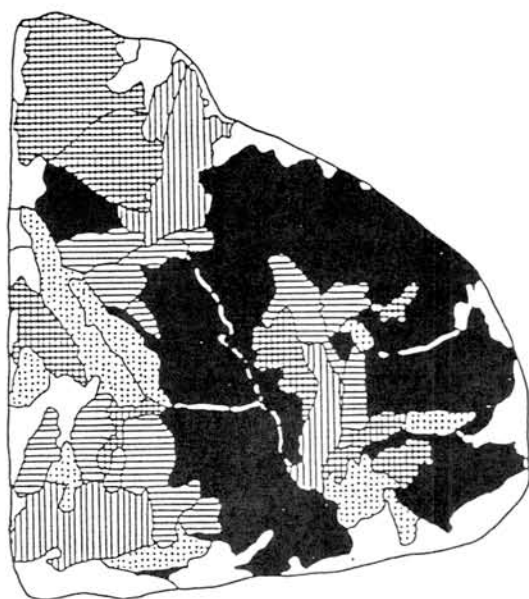


図2. 実験に用いたタンク

図1. 観測されたニラスの水平断面のC軸の天頂角分布

■ : 0 ~ 15 deg.    ▨ : 15 ~ 30    ▤ : 30 ~ 45  
▧ : 45 ~ 60 deg.    ▩ : 60 ~ 90    □ : excluded from analysis.

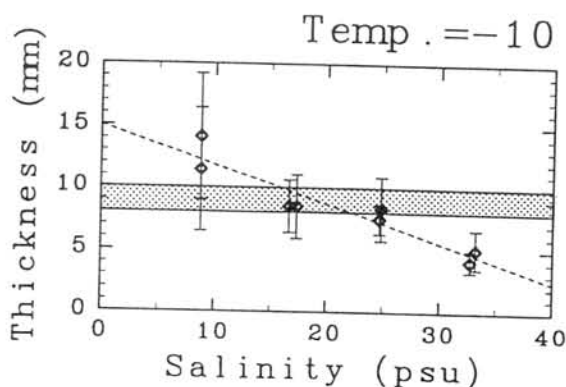
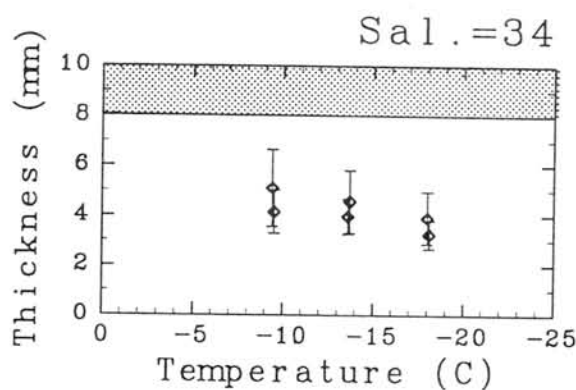


図3. C軸が鉛直な層の厚さ

(図中、Error bar は標準偏差、陰影部は採取したニラスの氷厚を表す。)

(a) 温度条件を変えた場合 (塩分 34psu)    (b) 塩分濃度を変えた場合 (温度 -10 C)

## 南極海における融解期と結氷期の海水分布の関係

二橋 創平・大島 慶一郎 (北大 低温研)

### A relationship between the distribution of sea ice in the retreat season and that in the advance season in the Antarctic Ocean

Sohey NIHASHI and Kay I. OHSHIMA (Inst. Low Temp. Sci., Hokkaido Univ.)

The Antarctic sea ice decay rapidly in December and most of them melt away in February, then it advance gradually from March. The maximum of the net heat input into the ice-upper ocean system occurs in December, from the heat budget analysis. The net heat input at the water surface is very large ( $100\text{--}150\text{ W m}^{-2}$ ) because of large solar radiation input, and that at the ice surface is nearly zero. Thus, the net heat input into the upper ocean strongly depends on the sea ice concentration. Since year to year variation in sea ice distribution is largest in December, the heat input to the upper ocean also differs considerably from year to year. The difference of the heat in the retreat season may be memorized in the ocean and affect the following advance of sea ice. On the basis of the above concept, we examine the relationship between the distribution of sea ice in the retreat season and that in the advance season in the Antarctic Ocean, using DMSP SSM/I data. In several regions, anomalies of sea ice concentration in the retreat season highly correlated with that in the following advance season, which supports the above concept.

#### 1. はじめに

南極海は代表的な季節海水域である。衛星観測から、12月が海洋融解の最盛期で、2月には海水域のほとんどが消滅、そして3月下旬頃から結氷が始まる。夏季の海水域における熱収支解析によると、大気からの heat input が最大になるのは12月であり、海水表面ではほぼ収支0になるのに対し、開水面では  $100\text{--}150\text{ W/m}^2$  の net heat input があることが示される (Nihashi and Ohshima, 1999)。この違いは、主に入射短波放射による。従って海水の有無により、海洋上層中に与えられる熱はオーダーが1~2異なる。一方、12月は海水分布の年々変動が最も大きい月でもあるので、この時期に大気から海洋上層中に与えられる熱は、年により大きく異なることになる。この熱の違いは、次の結氷期にも影響を及ぼす可能性がある。つまり、融解期に海水密接度が低い(高い)ほど、海洋上層へ与えられる熱が多く(少なく)なり、結氷を遅らせる(早める)。これは海水-海洋結合系におけるアイスアルベドフィードバック効果と言ってもよい。

本研究では、このような関係がみられるかを、人工衛星による海水データを用いて調べた。

#### 2. 結果

解析には、Nimbus-7 SMMR, DMSP SSM/I による月平均の海水密接度データを用いた。融

解、結氷期における各年の海水の多少を知るために、密接度データからアノマリーを各月毎に求めた。

図1は、1979-80年の融解最盛期の12月、結氷期の4月における海水密接度のアノマリーを比較したものである。両者の空間分布をみると、よく一致していることがわかる。その他の年についても、アノマリーの分布パターンは異なるが、両者の分布パターンはよく一致していた。このことを確認するために、18年間のアノマリーデータを用いて融解期(12月)と結氷期(4月)の相関係数を求めた(図2)。相関係数はほぼ全域で正で、ウェッデル海の南極半島付近から沖側と東側の沿岸寄りの海域で0.6以上の大きな値になった。南極半島の西岸(ベリングスハウゼン海)やロス海の沖側でも、相関係数が0.6以上の値になった。この結果は、有意水準99%以上で有意である。

以上のことから、融解期における海水の多少が、海洋上層へ与えられる熱の多寡を生み、それが海に記憶されて、海水が一度消滅した後、結氷期にも反映されることが示唆された。

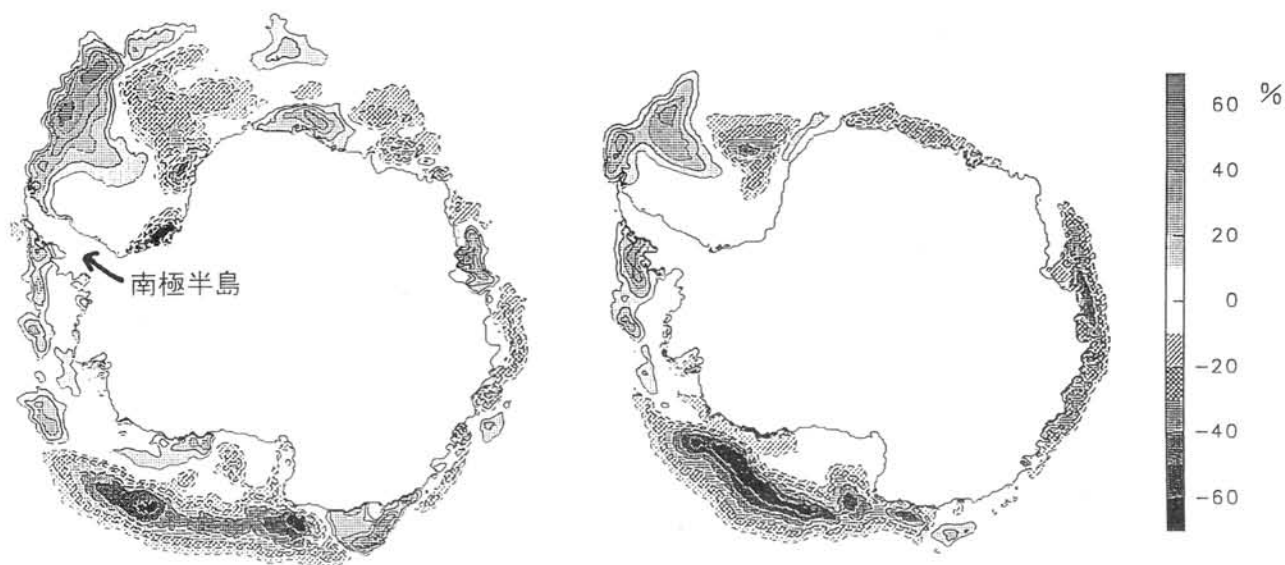


図1 海水密度のアノマリー. (左) 融解期 (1979 年 12 月), (右) 結氷期 (1980 年 4 月)

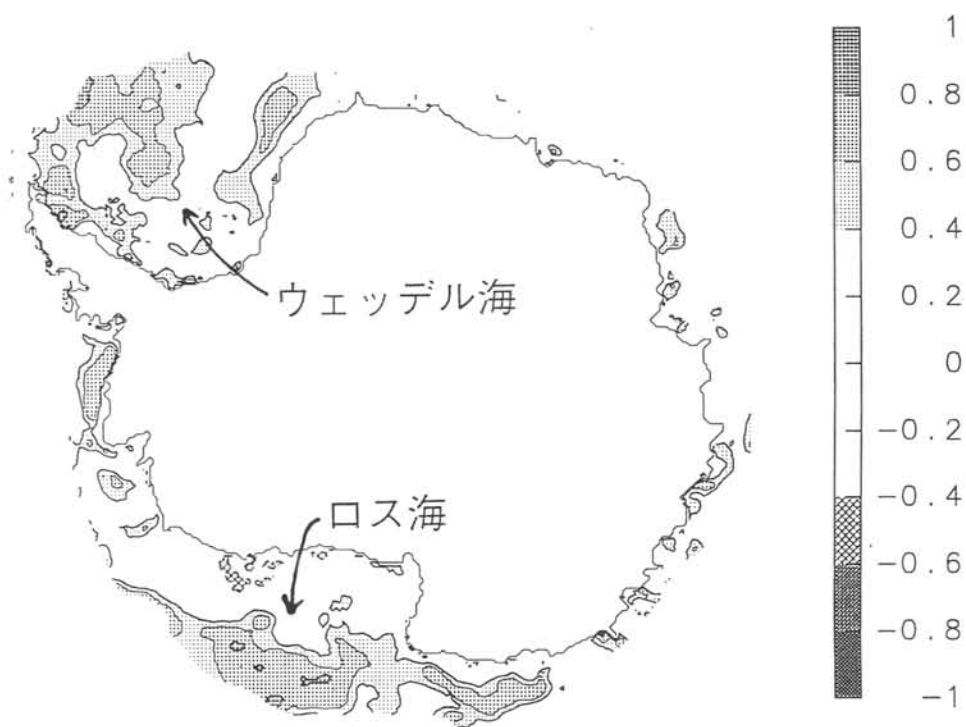


図2 融解期と結氷期の海水密度アノマリーの相関係数

## 海氷成長における放射特性の変化

滝沢厚詩, 石川信敬, 白澤邦男, 河村俊行 (北大 低温研) 佐藤篤司, 鎌田慈 (防災研 新庄)

Changes of radiation properties with sea ice growth

A.Takizawa, N.Ishikawa, K.Shirasawa, T.Kawamura (Hokkaido Univ.)

A.Sato, Y.Kamata (National Research Institute for Earth Science &amp; Disaster Prevention)

Sea ice and snow on sea ice change the heat balance over polar ocean. In order to investigate the relation between ice thickness, structure and radiation properties with sea ice growth, our observations carried out in the artificially opened pool made on the thick sea ice and in laboratory. As the results, we have found that, 1) spectral reflectivity increased with sea ice growth; 2) the extinction coefficient did not change well with the increase of sea ice thickness; 3) radiative characteristic of sea ice depends greatly on the structure of sea ice.

**1. はじめに** 海洋表面が開水面から海氷面へと変化すると、海洋からの熱の多くは遮断され、またアルベド増加により吸収日射量が減少するなど大気海洋間の熱交換に影響が現れる。また海氷成長に伴い、反射率や減衰率が変化することが考えられる。しかし、薄氷期での連続的な放射観測の例は少ないため、放射特性の氷厚依存性は明らかにされていない。そこで日射の反射及び減衰と氷厚値との関係を調査した。

**2. 方法 (野外観測)** 99年2月中旬に北海道サロマ湖、及び99年3月中旬にバルト海沿岸のフィンランド・トバルミンにて観測を行った。海氷上に2m×2mの開水面(プール)を作成し、結氷の様子を観察した。

**(室内実験)** 防災科学研究所・新庄雪氷防災実験支所、雪氷防災実験棟にて実験を行った。水槽へ入れた海水を厚さ約10cmまで凍結させ、その後は室内装置による積雪、融解、再凍結の過程を経て、層構造の違いを持つ海氷を作成した。双方の場合とも海氷の成長過程に伴い、アルベド・波長別反射率などを測定した。また水中に設置した小型日射計により日射の減衰を調べた。

**3. 結果** 図1では可視域・近赤外域の平均反射率を氷厚に対して示す。海水面から結氷初期までの段階では、両波長帯とも数%とほとんど差のない小さい値であった。しかし海氷成長につれ反射率は増加し、その変化率は近赤外に比べ可視域の方がより大きく、両者の差は氷厚増加とともに大きくなった。特にサロマ湖ではこの傾向が顕著であるが、これは期間中の降雪によりプール表面に雪ごおりが形成したことによると考えられる。一方、バルト海では観測期間中、晴天が続き反射率の増加はサロマに比べ小さい。次に氷厚に対する薄氷の減衰係数の値を示す(図2)。サロマ湖と室内実験の場合、0.10~0.12とほぼ氷厚の変化によらず一定の値を保った。バルト海でも値に変動があるが、氷厚に対する依存性は特に現れていない。

このように2地点での海氷は同程度の氷厚において放射特性に違いがみられた。すなわち放射特性が氷厚だけでなく、海氷内部の層構造にも大きく依存するものと考えられる。今回は、さらに厚い海氷の場合や室内実験でのより詳しい解析により、放射特性に影響を与えるパラメータについての議論する。

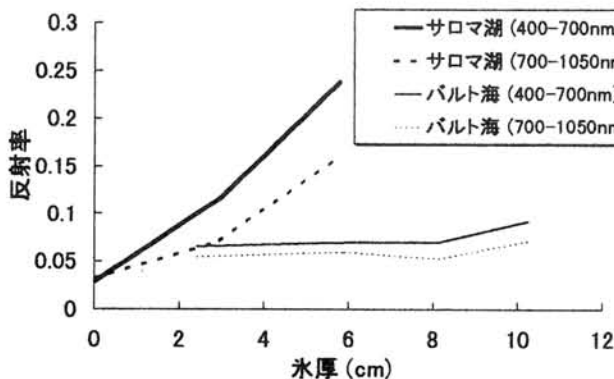


図1 氷厚に対する波長帯別反射率の変化

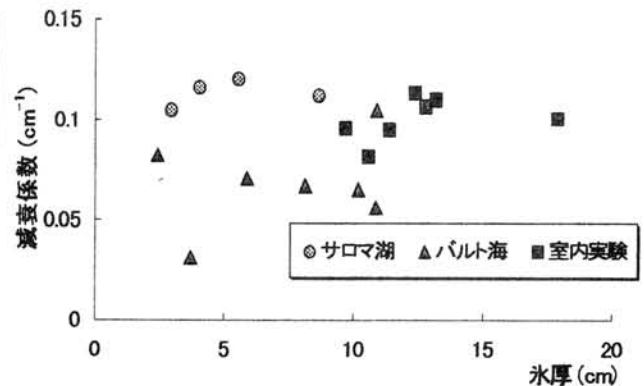


図2 氷厚に対する減衰係数の変化



## 極海域における open-ocean deep convection 秋友和典 (京大院理)

### Open-ocean deep convection at high latitudes Kazunori Akitomo (Graduate School of Science, Kyoto Univ.)

Two types of open-ocean deep convection are found to be possible at high latitudes with scaling arguments. The first type appears in a homogeneous ocean, or in a deepening mixed layer. The increased apparent buoyancy flux due to thermobaricity tends to make the scales of convective properties larger than those without thermobaricity. In the actual situation, however, thermobaricity is not so effective even in polar oceans because the earth rotation confines the convective size to a smaller level. The second type of deep convection is driven by pure thermobaric instability in a two-layer ocean where a cold, fresh mixed layer overlies a warm, saline deep layer, as often observed in polar oceans. It causes an abrupt overturning of the water column. Scales of convective properties are dependent on the difference of water temperature between the two layers, the initial size of plume and the Coriolis parameter (or time), but not on the surface cooling rate directly. With actual parameters, convective properties and the associated buoyancy flux are much larger than those of the first type. Observed vertical profiles of water temperature and salinity suggest that the first type of deep convection could occur in the Greenland Basin while the second type in the Weddell Sea.

#### 1. はじめに

極域での底深層水形成過程を正しく理解するためには、それに深く関わる対流現象の物理過程を明らかにする必要がある。特に極域では海水の体膨張率の圧力依存性が大きく (thermobaric 効果)、中緯度海域などの対流とは違った特性を持つことが指摘されている。ここでは、極海域での対流の特性を thermobaric 効果に注目して調べるとともに、その現場への適用可能性について検討する。また、背景場の影響についても考察した。

#### 2. 二種の deep convection

簡単のため、海水の体膨張率  $\alpha$  が深さとともに線形に増加する、すなわち、 $\alpha = \alpha_0 + \alpha_1 z$  と仮定し、海面から一様な浮力フラックス  $F_B$  が作用する場合を考える。まず一様な海洋についてみれば (タイプ I)、thermobaric 効果によって深さ  $z$  での見かけの浮力フラックスは  $F_B^* = F_B (1 + (\alpha_1/\alpha_0)z)$  となり、対流の特性量  $g'$  (換算重力)、 $w$  (流速)、 $l$  (スケール) は、次の式で与えられる。

$$(g', w, l) \sim \sqrt{F_B (1 + l/H_\alpha)} (f^{\frac{1}{2}}, f^{-\frac{1}{2}}, f^{-\frac{3}{2}}) \quad (1)$$

ただし  $f$  はコリオリパラメータであり、 $H_\alpha (= \alpha_0/\alpha_1)$  は thermobaric 効果の特性深さである。さらに、thermobaric 効果のない場合のスケール ( $g'_0, w_0, l_0$ )  $\sim \sqrt{F_B} (f^{\frac{1}{2}}, f^{-\frac{1}{2}}, f^{-\frac{3}{2}})$  を用いて変形すると、

$$g'/g'_0 \sim w/w_0 \sim l/l_0 \sim \frac{1}{2} \left[ \frac{l_0}{H_\alpha} + \left\{ 4 + \frac{l_0^2}{H_\alpha^2} \right\}^{\frac{1}{2}} \right] \quad (2)$$

が得られる。これから分かるように両者の比は  $l_0/H_\alpha$  のみで決まり、極海域でこの値を見積もってみると  $l_0/H_\alpha \sim 0.1$  の程度になる。従って、このタイプの対流では thermobaric 効果はほとんど効かない。

次に、二層海洋について考える (タイプ II; 図 1)。極域でよく見られるように、相対的に低温で低塩 ( $\theta_m, S_m$ ) の混合層 (厚さ  $h_m$ ) と高温で高塩 ( $\theta_u, S_u$ ) の深層からなっている。混合層水を断熱的に深さ  $z$

まで移動させた場合の周りの海水との密度差  $\Delta\rho$  は

$$\Delta\rho(z) = \rho_m - \rho_u = \rho_0 \{ \alpha(z) \Delta\theta + \beta \Delta S \} \quad (3)$$

ただし  $\Delta\theta = \theta_m - \theta_u$ ;  $\Delta S = S_m - S_u$ 。

と見積もられ、その鉛直分布は図 1 b に示すようになる。例えば、初冬の混合層水は遙か深層の水に対しては不安定だが ( $\Delta\rho > 0$ )、直下の水に対しては安定である ( $\Delta\rho < 0$ ; 図中の実線)。しかし冷却とともにその安定な層は徐々に薄くなり、もし冬の終わりまでに消滅すれば、混合層水が急激に下層への沈降を始める。このとき、 $\Delta\rho(h_m) = 0$  から、深さ  $z$  での密度偏差は  $\rho_0 \alpha_1 \Delta\theta (z - h_m)$  となる。幾つかの仮定のもとに対流の特性量は

$$(g', w, l) \sim \sqrt{\alpha_1 \Delta\theta g l_{on}} (f, 1, f^{-1}) \quad (4)$$

と見積もられる。ただし、 $l_{on}$  は発生時における対流のスケールである。上式から明らかなように、このタイプの対流には thermobaric 効果が本質的であり、逆に海面冷却の強さ ( $F_B$ ) は直接的にはその特性に影響しない (混合層水を重くして、発生のタイミングを決定するだけ)。現実的なパラメータ値を用いて特性量を見積もってみると、このタイプの対流は先の一様海洋中での対流に比べて一桁程度、大きくて強くなる。

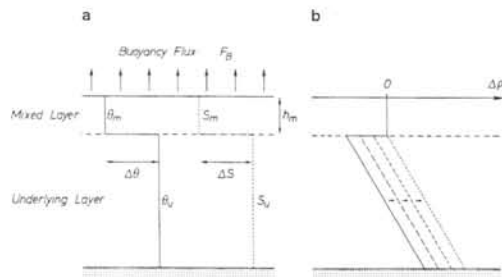


図 1: (a) 理想化された二層海洋。 (b) 式 (3) で定義された密度偏差  $\Delta\rho(z)$  の時間発展。時間とともに矢印のように変化する。

### 3. 現場への適用

極海域では二層構造がより現実的なようにも思えるが、実際にどちらのタイプの対流が生じるのかを知るためには、弱いながらも中・深層での安定成層の影響を考える必要がある。そこで、図2に示すように混合層(氷点と仮定)と水温極大層との水温差 $\Delta\theta_1$ から見積もられる thermobaric instability の強さ $DR1$ と下層における成層の強さ $DR2$ とを、代表的な海域である Greenland 海と Weddell 海について比較したのが表1である。

この表から明らかなように、Greenland 海では $DR2$ が $DR1$ より大きく混合層が徐々に深くなっていく形でタイプIの対流が生じ、Weddell 海では逆にタイプIIの対流が可能である( $DR1 > DR2$ )。この違いは① Greenland 海で下層の塩分成層が強いこと、② Weddell 海では水温極大層が暖かいことによる。

同時に行った非静水圧モデルによる実験でも二つの海域で生じる対流のタイプが異なるという結果を得ており、それぞれのタイプの対流が両海域での底深層水形成に大きな違いを生じさせる可能性があり、更に検討を進める必要がある。

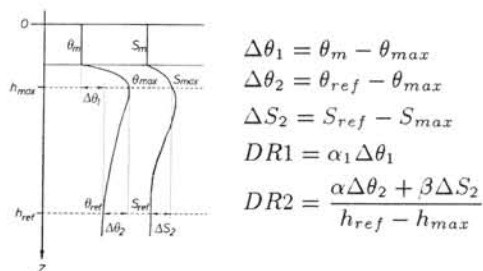


図2: 極海域における水温・塩分の概略的鉛直分布と thermobaric instability の強さ $DR1$ 、下層の成層の強さ $DR2$ の定義。 $h_{ref} = 1000m$ とした。

Area	Greenland Basin			Weddell Sea		
Sta.	A	B	C	D	E	F
$\Delta\theta_1$	-0.79	-0.79	-0.92	-2.15	-2.24	-2.17
$\Delta\theta_2$	-0.58	-0.52	-0.49	-0.22	-0.60	-0.26
$\Delta S_2$	0.041	0.015	0.025	-0.002	0.001	-0.002
$DR1$	2.5	2.5	2.9	6.9	7.2	6.9
$DR2$	7.0	4.4	5.3	1.0	3.5	1.6

表1: Greenland 海(A~C)と Weddell 海(D~F)における水柱の安定度。 $\Delta\theta_1$ 、 $\Delta\theta_2$ の単位は $^{\circ}C$ 。 $DR1$ 、 $DR2$ の単位は $\times 10^{-8} m^{-1}$ 。

### 4. 背景場の影響

現実の海洋は水平的にも不均一であるため、深層まで達する対流は数10km程度のスケールの領域で生じることが多い。そこで最後に、そのような背景場が存在する場合の実験を、特に Weddell 海でのタイプIIの対流について、非静水圧三次元モデルを用いて行った。モデル海は3.2kmの深さを持つ一辺25.6kmの正方形で、海面で一様な冷却( $500Wm^{-2}$ )を与える。また、以下の式で混合層下( $z < h_m$ )での水温、塩分の初期分布を与える。

$$C = C_{obs}(z) - C_{amp} \exp\left(-\frac{z^2}{2z_0^2}\right) \cos \frac{2\pi y}{L_y} \quad (5)$$

ここで $C_{obs}(z)$ は水温または塩分の観測に基づく鉛直プロファイルであり、 $C_{amp}$ 、 $z_0$ はそれぞれ与える偏差の振幅、鉛直スケールである。図3bに水温

の初期分布の例を示すが、y方向に並ぶ高温(高塩)の水塊と低温(低塩)の水塊が混合層下に存在している。このような分布に対応して数 $cms^{-1}$ 規模での初期流速も存在する(図省略)。

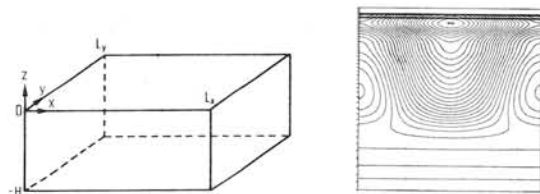


図3: モデル海と初期温度分布。等値線は0.025度毎。

図4は $(\theta_{amp}, S_{amp}) = (0.5^{\circ}C, 0.05)$ のケースの $x = 12.8km$ における温度の鉛直断面の時間発展を示している。冷却開始後10日目に、まず低温、低塩な深層水の存在する領域で混合層が不安定になり、およそ600mまで達するタイプIIの対流が生じる。時間の経過とともに不安定は高温で高塩な領域へと広がり、20日目にはほぼ全域で overturning が完了する。しかし30日目になっても空間的な変動が見られ、水平一様な場合とは大きく異なる。これは一つに、対流の発生に伴って15日目前後から生じ始めた傾圧不安定渦による変動が加わったからである(図省略)。

さて、図5は水平平均した温度の時間変化を水平一様なケースとの差として表したものである。これから明らかなように、20日目以降の上層の低温化、中層の高温化に加えて、深層での低温化が見られる。詳細は省略するが、これは thermobaric 効果によるものと考えられる。

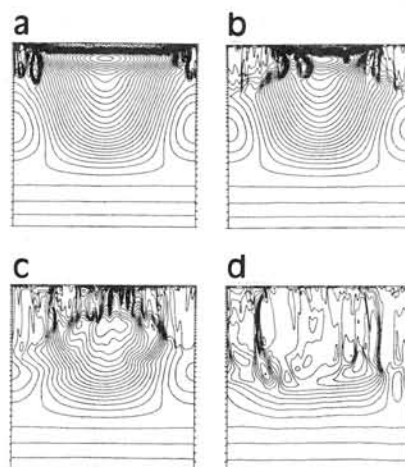


図4:  $x = 12.8km$ における温度の鉛直断面。等値線は0.025度毎。(a)10日、(b)15日、(c)20日、(d)30日。

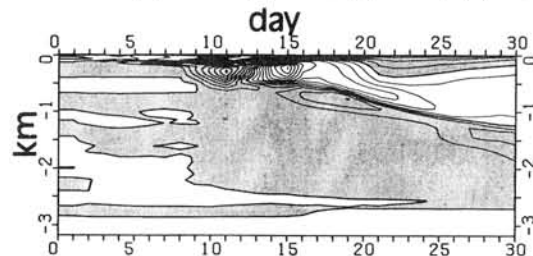


図5: 水平平均した温度の時間変化。水平一様なケースとの差で示している。等値線は0.025度毎で、影は負値(低温化)を示す。

1998 年オングル海峡における海水密度特性の季節内変化、季節変化と経年的変化

青木 茂・橋田 元・牛尾 収輝 (極地研)

Intraseasonal, seasonal and interannual variations in density structure  
in Ongul Strait, Antarctica, in 1998

S. AOKI, G. HASHIDA, S. USHIO (NIPR)

Density variations were observed below fast ice in Ongul Strait, Antarctica, in 1998. Vertical profiles of temperature and salinity were obtained with a conductivity-temperature-depth profiler, and temperature was continuously observed at about 100m depth by moorings. Temperature variation of about  $0.05^{\circ}\text{C}$  was observed in the time scale of one month. Seasonal tendencies of temperature and salinity variations were consistent with those observed in 1982-83 and 1990-91. However, they showed interannual differences; salinity was intermediate between 1982-82 (more saline) and 1990-91 (less saline) at 10-400m, and temperature was generally higher than those in 1982-83 and 1990-91 at 200-400m.

はじめに

オングル海峡では、日本南極観測のもと、過去数回にわたり越冬を伴う海洋観測が実施されてきた。こうした観測は、冬期における観測の少ない南極沿岸域では非常に貴重である。過去の観測により、密度構造の季節変化する様子が明らかになってきた。全般に秋期に向けて低温・低塩化し、その後徐々に高温・高塩化することが分かった。こうした変化が南極沿岸の風の季節的な変化に起因する<sup>1)</sup>メカニズムが提出されている。また、塩分の経年変化の存在<sup>1)</sup>も報告されている。しかし、季節変動の定量的な面や、経年変動の全体像については、観測が不足しているため、ほとんど分かっていない。こうした変動の実態を捉えるため 39 次越冬期間中に海洋観測を行った。鉛直密度分布の季節的な変動を捉え、その経年的な変化を調べた。また係留系の水温連続観測により、季節変動より短周期の変動がどの程度の振幅を持つのかを調べた。

観測データ

オングル海峡中央部（水深 549m）とオングル島側斜面上（同 317m）の 2 点で、CTD・採水による密度の鉛直プロファイルおよび係留観測を行った。オングル島周辺では、越冬開始時から開水面が広がり、定着氷の発達が遅れた。1998 年 7 月から 12 月まで 4 ヶ月以上の観測を行った。

観測結果

オングル海峡中央部で行われた観測結果を解析した。係留系による 100m 深での連続水温データは、およそ 1 ヶ月周期の顕著な変動を示した。変動の振幅は  $0.05^{\circ}\text{C}$  程度であるが、深度センサーに基づいて深度補正を行ってもこの変動は顕著であった。

CTD による水温・塩分鉛直分布の季節的な変動傾向は、過去の観測結果と一致する。7 月から 12 月にむけて高温・高塩化し密度躍層が浅くなっている。100m 深では約  $0.2^{\circ}\text{C}$  高温化しており、季節内変動の振幅から考えてこの変動が短周期のエイリアジングでないことは明らかである。

上記の季節変化を、過去に観測がある 1982、83 年および 90、91 年の同時期の観測と比較した。塩分については、ほぼ全層で、1982-83 年より低いが 1990-91 年よりは高く、両者の中間的な値を示している。一方、水温に関しては、50-100m では他の年度に比べて低温であるのに対し、200-400m では高温である。ただし、こうした傾向に対する観測位置の違いの影響を明らかにする必要がある。1999 年、2000 年にもオングル海峡での観測が予定されている。今後もこうした海洋観測を継続し、経年変化の実態を明らかにしていく必要がある。

<sup>1)</sup> Oshima et al. (1996) J.G.R. 101, 20,617-20,628.

## カムチャッカ半島・ウシュコフスキー氷冠コアによる環オホーツク海の新気候・古環境の復元

西尾文彦、戸山陽子(北海道教育大学)、白岩孝行(北大・低温研)、藤川哲也、田中教幸(北大・地環研)、亀田貴雄(北見工大)、Y.D.ムラビヨフ、

A.A.オブシャニコフ(ロシア科学アカデミー・火山研究所)

**Interactions between sea ice extents and Aleutian Low activity derived from Ushkovsky ice cores, Kamchatka**

Fumihiko Nishio, Yoko Toyama (Hokkaido University of Education, Kushiro), Takayuki Shiraiwa (Institute of Low Temperature Science, Hokkaido University), Tetsuya Fujikawa (Graduate School of Environmental Earth Science, Hokkaido University), Takao Kameda (Kitami Institute of Technology), Yaroslav D. Muravyev, Alexander A. Ovsyannikov (Institute of Volcanology, Russian Academy of Sciences)

**Abstract:** Ice core drilling was carried out at Gorshkov crater on Ushkovsky ice cap, Kamchatka, Russia from June 18 to July 5, 1998. In this paper, it is reported on the result of in-situ ECM, which is one of the analyses in drilling site. We attempted to be dating of ice cores at the depth of 141m using these data set of ECM and of isotope of hydrogen and oxygen. The d-parameter derived from isotope data indicates anti-phase with sea ice extents in Okhotsk sea, which shows the interrelations of water vapor between Okhotsk sea and Bering sea due to the Aleutian low pressure systems in winter.

**1. Introduction**

1998 年 6 月に掘削したウシュコフスキー氷冠 212m コアから環オホーツク海の新気候・古環境の復元を行うことを目的としている。モデル計算や ECM データから、212m コアの年代は 141m でおよそ西暦 1765 年まで、212m では西暦約 1540 年までの過去にもどることができる。ウシュコフスキー氷冠コアの底部は融解している可能性があり、実際の年代よりも新しく出る可能性もあるが、少なくとも過去約 500 年の環オホーツク海の新気候・古環境の復元が可能であると考えられる。

オホーツク海は北半球で海水の存在する南限の海であり、ここ数年その量は減少しており、2030 年頃にはオホーツク海から海水が消えることも、モデルによるシミュレーション結果から懸念されている。

オホーツク海の海水の将来の変動を推定するには、モデルによるシミュレーションが挙げられる。現在の変化を示すのは衛星データによるものであり、過去の海水変動の手掛かりを知るにはコアによるシグナルを検知することである。とくに、雪氷コアは過去の大気成分等の保存状態が非常によいことから、過去を知る手法としては最も適していると考えられている。このように、雪氷コアと衛星データ、モデルを使った「過去、現在、未来」と一つの時間軸の上でのオホーツク海の海水の変動を知り、そこから地球の変動を示唆することが可能となる。

図 1 に示すように、ウシュコフスキー氷冠はカムチャッカ半島の中心部の、オホーツク海とベーリング海にはさまれたところに位置し、オホーツク海の新気候の復元を知るには最も適した場所である。1998 年に掘削したコアの解析は現在進行中であり、今回は 1997 年に掘削したウシュコフスキー氷冠 13m コア (Caldera Site) の安定同位体のデータを用いて 1982 年からのオホーツク海の海水の変動を復元し、気象庁の出している 1996 年までのオホーツク海の海水の変動との比較を行った。今回の解析により 1998 年に掘削した 212m コア (Gorshkov Core) による、安定同位体からの環オホーツク海の新気候・古環境の復元を考察する。



図1 ウシュコフスキー氷冠位置

**2. Sea ice change in Okhotsk sea since 1971**

気象庁の観測による 1971 年から 1998 年までのオホーツク海の海水の変動のデータを用いて過去 28 年間の海水の変動を以下 4 つの海水変動として定義した。気象庁のデータは、12 月から翌年の 5 月までの冬期間の 6 か月分あり、1 か月につき 5 日ごとに 6 回の観測を行っている。

- 1) 12 月から 5 月における海水平均面積、2) 各年の最大海水面積、3) 各年の海水面積の積算値
- 4) 各年の最寒月 (1 月から 3 月) の海水面積の積算値

このうち、密度度別の海水分布図があるのは 1986 年からである。Caldera Core からは 1982 年からの安定同位体のデータがあり、海水面積の変動との対応をみることができる。オホーツク海の海水面積には、最大海水面積と積算値では変動が異なる箇所が見られる。大気条件を表わす同位体データは、オホーツク海に張っていた一冬の海水面積の情報が必要となってくるため、Caldera Core のデータと比較する際には「各年の最寒月 (1 月から 3 月) の海水面積の積算値」を使用した。



1982 年からの海氷面積の変動をみると、図 2 に示される様に 1984 年、1991 年、1996 年が少氷年にあたり、1988 年、1998 年が多氷年にあたる。

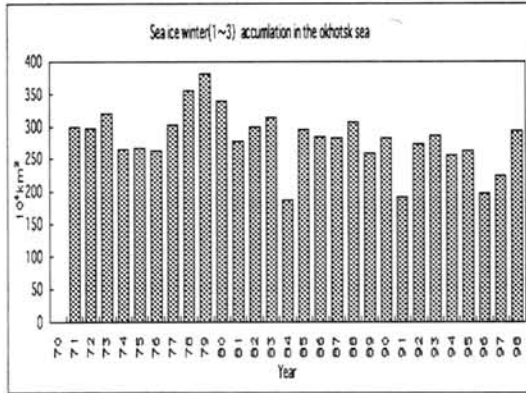


図2. 1971年から1998年までのオホーツク海海氷面積

読み取る場合には、最寒月の  $\delta^{18}\text{O}$ 、 $\delta\text{D}$  値に対応する値を読み取る必要がある。今回は、 $\delta^{18}\text{O}$ 、 $\delta\text{D}$ 、 $d$  値に三区間移動平均をかけ、冬場の  $d$  値を決定した。

### 3. Deuterium excess (d-parameter) records

$d$ -parameter は次のような性質をもっている。

- 1) 海上で相対湿度が大きくなると  $d$  は減少する。
- 2) 海面の温度が減少すると  $d$  は小さくなる。
- 3) 風速が増すと  $d$  が減少する。
- 4) 湿度が 70~80% のとき、亜熱帯域の海上での蒸発が、20~25℃ の温度で起こると、 $d$  は +10‰ になる。これは、現在の天水 (Meteoric Water Line) が  $\delta\text{D} = \delta^{18}\text{O} + 10$  の切片を意味し、多くの降水の起源とも言える。

また、 $\delta^{18}\text{O}$ 、 $\delta\text{D}$  の季節変化と比較したとき、 $d$  値は秋口に最大値を示し、春先に最小値を示す (Johnsen et.al 1987)。

ウシュコフスキー氷冠コアから  $d$  値を

### 4. Sea ice change and d-parameter

ウシュコフスキー氷冠コアから求めた  $d$  の値と最寒月 (1 月~3 月)、オホーツク海全域の海氷面積の積算値 ( $S$ ) との変動を比べて見た。図 3 にその結果を示す。 $S$  値が大きくなると、 $d$  値は小さくなり、 $S$  値が小さくなると、 $d$  値は大きくなる傾向が見られた。この逆相関の解釈は次のように考える。

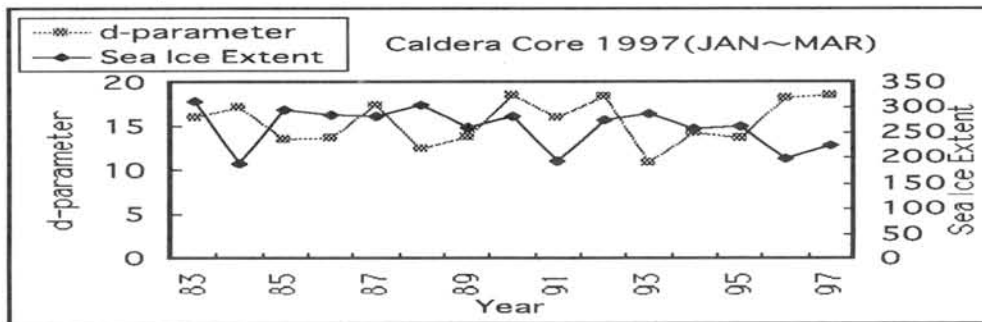


図3.  $d$ -parameter 値とオホーツク海全域海氷面積

オホーツク海に海氷がはると海水面が少なくなり、水蒸気の供給起源が海水面の多いベーリング海にシフトする。また、オホーツク海に海氷面積が大きいとアリューシャン低気圧が発達し、この気団から北東風による降水の供給がカムチャッカ半島のベーリング海側に発生するのである。ベーリング海は冬場、湿潤な気団が上空に存在し、海水の蒸発速度は遅くなり、ベーリング海での  $d$  の値は小さくなる。このことは、オホーツク海に海氷がはると  $d$  が小さくなる現象の解釈となる (逆のパターンも同様の解釈)。例外として、オホーツク海に海氷面積が大きくなるのに  $d$  も大きくなる現象が見られる (逆のパターンも同様)。これは、「オホーツク海に海氷面積」でも、北緯 50° 以北の海氷面積が  $d$  と関係があることを示しており、オホーツク海に海氷面積が大きくなっても、北緯 50° 以北の海氷面積が小さければ、その分海水面が大きいため  $d$  の値も大きくなる。

### 5. Deuterium excess and origin of precipitation

ウシュコフスキー氷冠コアにみられる水蒸気供給起源と  $d$  値は、オホーツク海によるものとベーリング海によるものが挙げられる。冬場、オホーツク海はベーリング海に比べて海水が多くはるため、 $d$  値はオホーツク海に海氷面積と良い相関が見られることが考えられる。つまり、オホーツク海が一冬にどのくらいの間、海氷でフタをされていたかとの関係がある。特に、ウシュコフスキー氷冠の位置を考慮すると、北緯 50° 以北の海水面積に  $d$  値は顕著に関係が現われてくると考える。しかし、必ずしも  $d$  値と北緯 50° 以北のオホーツク海に海氷面積は正の相関があるのではなく、 $d$  値とオホーツク海全域の海氷面積の相関がわるいときにのみ、北緯 50° 以北のオホーツク海に海氷面積は  $d$  値と良い相関を見せる。1982 年から 1997 年の 16 年間の毎年の  $d$  値の変動を考察した。特に  $d$  値の一年ごとの絶対値に着目し、 $d$  値の絶対値が「平均値より低い値の範囲で季節変化している年」と、「夏場は平均値より低く冬場は平均値より高く出る年」に場合わけした関係をを示す。



## カムチャッカ半島・ウシュコフスキー氷冠コアにおける

## ECM 法を用いた年代の推定

## Dating of Ushkovsky ice cap core in Kamchatka by DC-Electrical Conductivity Measurement method

戸山陽子・西尾文彦（北海道教育大学釧路校） 白岩孝行（北大低温研）

亀田貴雄（北見工大） 高橋昭好（地球工学研）

Yoko Toyama, Fumihiko Nishio, Takayuki Shiraiwa, Takao Kameda, Akiyoshi Takahashi

Yaroslav, D. Muravyev, Alexander A. Ovsyannikov

(Institute of Volcanology, Russian Academy of Sciences)

Ushkovsky Ice Cap with 3900m in elevation is located in the central part of the Kamchatka Peninsula. It is estimated to record the paleoclimatic and environmental signals from Okhotsk sea, Bearig sea and the surrounding regions. Ice core drilling and in situ ice core analyses were carried out at center of Gorshkov crater on Ushkovsky ice cap from June 18 to July 5, 1998. In this paper, it is reported on the result of Electrical Conductivity Measurements (ECM) data, which is one of the in-situ analyses in drilling site, and mosaic images of ice core moving by digital video camera. And, we attempted to calculate age of ice cores (approximately 450 years BP.) at the depth of 212m using these data set of ECM and mosaic images.

## 1.はじめに

カムチャッカ半島はオホーツク海とベーリング海の上に位置し、海洋の影響を強く受ける気候条件にある。冬期はオホーツク海とベーリング海の気候的相互作用を受け、カムチャッカ半島では、アリューシャン低気圧などによりベーリング海からの東風が卓越することが多い。一方、オホーツク海は北半球で最も低緯度で海水が結氷する広い海域である。最近の研究ではオホーツク海とその周辺は、海水と大気の相互作用の結果、温暖化が最も顕著に現われるという大気・海洋結合モデルによる数値実験の結果が出ている（野田彰 1996）。このことからオホーツク海やその周辺で気候と雪氷圏の変動に伴う様々な変化が起きていると考えられる。カムチャッカ半島の中心部に位置するウシュコフスキー火山（北緯 56 度 04 分、東経 160 度 28 分、標高 3900m）の山頂には直径 4km のカルデラと直径 800m のクレーターが存在し、雪氷で埋った氷冠が存在する。この氷冠には、オホーツク海周辺の気候変動をはじめとした、環オホーツク海の大環境・古気候のシグナルを記録していると考えられる。

1998 年 6 月 18 日から 7 月 5 日にウシュコフスキー火山のゴルシュコフクレーターの中心部において 212m の掘削と雪氷コアの現場解析を行った。本発表では、現場解析項目の一つである固体直流電気伝導度測定（DC-ECM 測定）の解析結果と、デジタルビデオ撮影によって作成した氷コアのモザイク画像と ECM 測定のデータセットから求めた、現場解析結果の 212m コアの年代について報告する。

## 2.ECM 測定方法

固体直流電気伝導度 (Electrical Conductivity Measurement, 以後 ECM と呼称する) 測定は氷コアを垂直方向に半割れの二つに切断した後に、電極で切断面上を走査して電極間を流れる電流を検出し、電気的特性の違いから氷に含まれている不純物などの濃度を測定する方法である。この測定法が応用されたのは、南極やグリーンランドで氷床コア解析の際に、コアに含まれている火山のシグナルの抽出やコアの年代を推定するために

用いられ、掘削現場での有効な解析手段として取り入れられた (Hammer, 1980)。コア解析の中で、コアの年代を決定することは、もっとも重要であり、その後の作業年代を決定するためにも迅速に行わなければならない。コアの年代を決定する手法には、酸素・水素の安定同位体やその他の主要イオン種の季節変動の解析が挙げられるが、解析するために時間を要する。一方、ECM 測定でコアの年代を推定する際には、掘削現場で簡単に測定できるということと、その後の解析も比較的早く行なえるため、作業年代を決めるには有効な手法であると考えられる。

ウシュコフスキー氷冠コアにおける ECM 測定は、現場で 141m 深までのコアを測定し、残り 212m 深までのコアは、約 5 ヶ月後に北海道大学低温科学研究所の低温室で測定を行った。ECM 測器は、5k $\Omega$  の抵抗、1250v の直流電圧、2cm の幅をもつ真鍮の棒を加工した電極を用いた。コアを固定する架台を用い、電極の走査は手動で行った。走査した速度は約 1cm/sec であった。測定毎にマイクロトームで氷表面を削り、新しい面を出して測定を行った。現場での測定を行うときのコアの温度は平均で -8.2 $^{\circ}$ C であったが、気温の高い日などは -4.7 $^{\circ}$ C の温度で測定を行った時もあった。一方、低温室での ECM 測定は、平均 -13.3 $^{\circ}$ C で、ほぼ一定の温度で測定した。ECM 測定は、コアの温度条件が ECM 値に反映してくるため、同一の温度で測定を行う必要がある。そこで、ECM 値の温度補正をコアの活性化エネルギーを求めて行った。

## 3.ECM 値が示す雪氷コアの季節変動

ECM 値は、フィルン層、氷板、火山灰層、などの各層によって変化が見られる。また、氷化後の氷では、夏層に相当する気泡の少ない層と、冬層に相当する気泡の多く入った層では ECM 値の大きさに変化が見られる。特に火山灰層に対する ECM 値の変化は顕著であり、図 1 に示すように、火山灰層の部分では ECM 値は、ほぼゼロレベルになった。

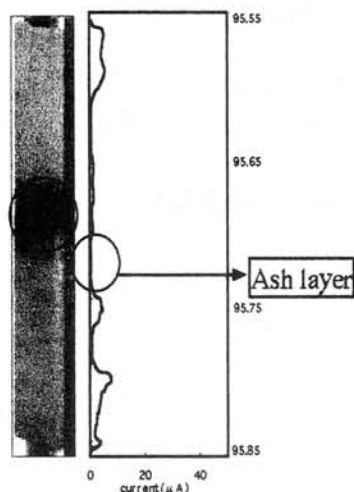


図1 火山灰での ECM 値は、ほとんどレベルが見られない

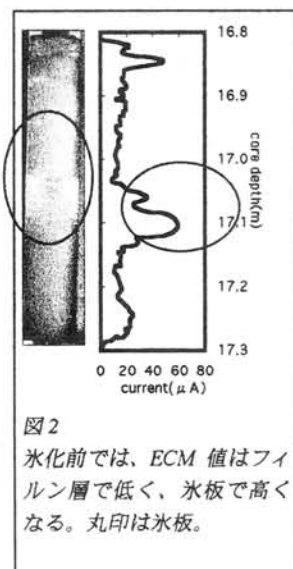


図2  
氷化前では、ECM 値はフィルム層で低く、氷板で高くなる。丸印は氷板。

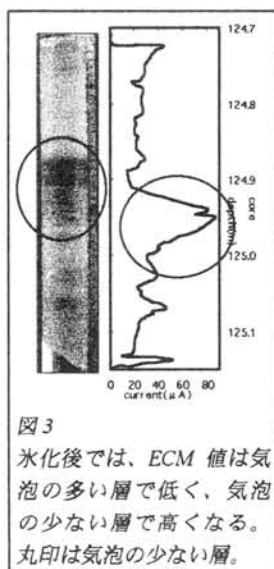


図3  
氷化後では、ECM 値は気泡の多い層で低く、気泡の少ない層で高くなる。丸印は気泡の少ない層。

また、フィルム層または冬層に相当する気泡の多く入った層では ECM 値は低くなり(図 2)、氷板や夏層に相当する気泡の少ない層では ECM 値は高くなる(図 3) 傾向が見られた。

氷コアの中から季節変動のシグナルを示す物質としては、 $\delta^{18}\text{O}$  や  $\text{NO}_3^-$ 、 $\text{Cl}^-$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{H}_2\text{O}_2$  等がある。ECM は氷の中の水素イオン濃度を検知する手法であるため、ECM によって氷の酸性度を検知すると、酸性度は夏に高く、冬に低くなる。一般的に、夏は氷河・氷床の表面の雪は融解再凍結するため、氷板が多く形成されたり、気泡の少ない層が多く見られる。

ウシュコフスキー氷冠コアは、約 54m の深さから密度が  $830\text{kg/m}^3$  以上となり、氷化する。氷化する前のコアはフィルム層と氷板で構成されている。この時の季節変化を読み取るには、夏層に相当する氷板を基準とすることができる。フィルム層と氷板は簡単に区別することができ、比較的簡単に季節変化を読み取ることができる。しかし、冷夏であったり暖冬であった年は、必ず夏に氷板ができるとは限らず、また冬に氷板がで

きる可能性もある。特にウシュコフスキー氷冠コアの場合、火山灰が多く入っている為、季節に関係なく火山灰によるアルベド増加がコアの中に氷板を形成することになる。よって、デジタルビデオで撮影したコアのモザイク画像から読み取った層位観察だけで年代推定を行うのではなく、ECM 値を同時に用いて季節変化を読み取っていった。氷板があり、ECM レベルが高い時は夏層であり、フィルム層で ECM 値が低い時は冬層であるとみなした。

一方、氷化後の氷については、モザイク画像からの氷板を基準とした夏層と冬層の区別が難しい。そこで、気泡の数を基準とした区別を行った。夏層では、融解再凍結が頻繁に起こるので気泡の数は冬層にくらべると少ないと考えられる。よって、氷化前の季節変動の読み取りと同様、気泡の数が少なく ECM 値が高い層を夏層、気泡の数が多く ECM 値が低い層を冬層とみなした。以上の事柄を表 1 にまとめる。

層	ECM 値	氷化前のモザイク画像	氷化後のモザイク画像
夏層	高い	氷板	気泡少ない
冬層	低い	フィルム層	気泡多い

表1 氷化前と後の季節変化の読み取り

#### 4.モデル年代との比較

このコアには鍵層となる火山灰が含まれており、その火山灰の年代とモデル計算による年代 (Nye model, Salamatin model)、そして ECM 値とモザイク画像データセットによる年代との比較を行った。

深度 (m)	火山灰	ECM-モザイク	Nye model	Salamatin model
12m	1986	1986	1976	1986
35.6m	1956	1956	1929	1957
102.5m	1829	1832	1759	1829
138.4m	1737	1768	1629	1740
141m		1763	1622	1730
212m		1537	1086	1506

表2 ウシュコフスキーコアの年代決定

ECM 値とモザイク画像のデータセットが一番年代が若く出ているが、この理由として、氷冠底部では火山活動の地熱による氷の融解再凍結が考えられ、季節変動が読み取れなくなっている可能性が考えられる。その他に、測定不可能なバラバラなコアがあったこともその理由に考えられる。ウシュコフスキー氷冠上にあるゴルシュコフ・クレーターの氷体のダイナミクス用に開発された、氷冠の底面が融解を仮定した Salamatin モデルと ECM-モザイク画像データセットで求めた 212m 深の年代の差は 31 年である。

## グリーンランド GRIP コアの力学特性と新しい流動則

宮本 淳<sup>1</sup>, 庄子 仁<sup>2</sup>, 成田英器<sup>1</sup>, 本堂武夫<sup>1</sup>, Henrik B. Clausen<sup>3</sup>, 渡辺興垂<sup>4</sup>

(1 : 北海道大学低温科学研究所, 2 : 北見工業大学, 3 : コペンハーゲン大学, 4 : 国立極地研究所)

### Mechanical properties of the GRIP ice core and a new flow law

Atsushi MIYAMOTO<sup>1</sup>, Hitoshi SHOJI<sup>2</sup>, Hideki NARITA<sup>1</sup>, Henrik B. Clausen<sup>3</sup>, Takeo HONDOH<sup>1</sup>, Okitsugu WATANABE<sup>4</sup>

(1 : Institute of Low Temperature Science, Hokkaido University, 2 : Kitami Institute of Technology,

3 : University of Copenhagen, 4 : National Institute of Polar Research)

We conducted a mechanical test of the GRIP ice core to understand the internal structure and the flow behavior of the ice sheet. The higher values of flow enhancement factor were obtained from specimens including a cloudy band structure. It was revealed that the non-uniform layer structure as cloudy bands affect the ice deformation process; however, there is no simple relationship between the cloudy band and enhancement factor. The low strength of the GRIP ice core can be explained by the misorientation angle between adjacent grains. We suggest a new flow law in consideration of the misorientation angle. This flow law can reproduce the ice sheet flow behavior.

#### 1. はじめに

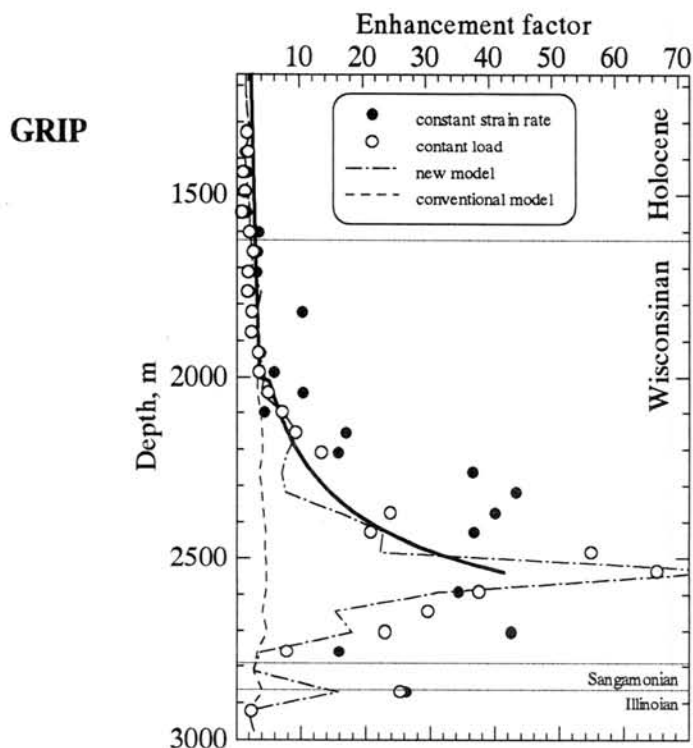
近年の南極やグリーンランドにおける深層氷床コア掘削技術の向上により、氷床深部の氷を採取する事が可能になった。その氷床コアの研究結果は氷床深部に特異な結晶C軸方位分布を持つ氷の存在を示しており、氷床氷の力学特性も等方性の氷とは異なることがわかってきた。本研究で用いた GRIP コアはグリーンランド氷床頂上部で Greenland Ice-core Project により掘削されたものであり、氷床頂上部の氷の力学特性を初めて明らかにするものである。そして、その結果を氷床全体の流動特性の議論に応用することを試みた。

#### 2. 氷床氷の結晶C軸方位分布と力学特性

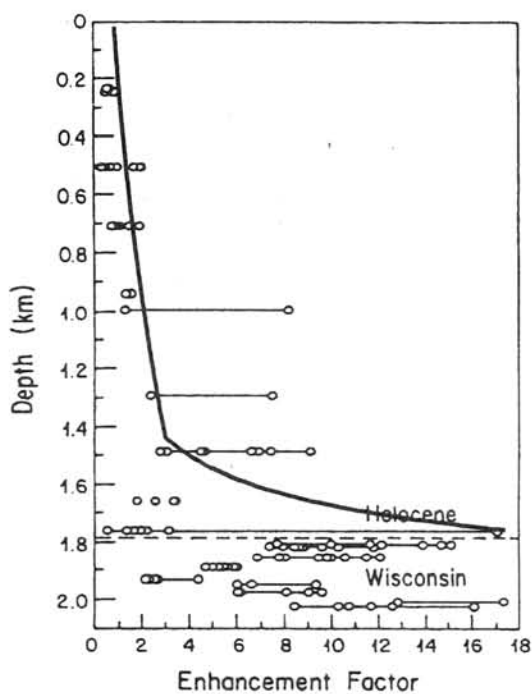
GRIP コアの結晶C軸方位分布は深さとともにランダムから単極大型へと変化することが明らかになった。この分布は深さとともに増すひずみによって個々の結晶粒のC軸が氷床の鉛直方向に回転し形成されると理解することができる。GRIP コアの一軸圧縮試験からはC軸方位分布の単極大型への集中化にともなって、氷床の水平方向に流動しやすくなることが明らかになった。特に氷期中に観察される白濁層と透明層の互層構造を示す Cloudy band 構造においては、透明層の結晶C軸方位が著しく集中化しており、2600 m 付近の最も集中する深度では等方性の氷の 50 倍以上水平方向に流動しやすいことがわかった。

#### 3. 結晶C軸方位の集中度を変数として加えた新しい流動則

氷床深部の氷が非常に流動しやすくなる原因として、C軸方位が集中することにより隣り合う各結晶粒の方位角差が小さくなり、これらの結晶粒が構成する多結晶体が単結晶に近い変形をしていることが考えられる。方位角差の小さい結晶粒界は転位の移動の障害とならないというモデルを立て、結晶方位の集中度として Median inclination というパラメータを用い、新しい流動則を求めたところ、Median inclination が 15 度以下において方位角差の影響が出てくることが明らかになった。さらにこの流動則によって予測された流動特性は過去に研究されたグリーンランドコアの力学試験の結果や掘削孔の傾斜の様子を再現することができた。

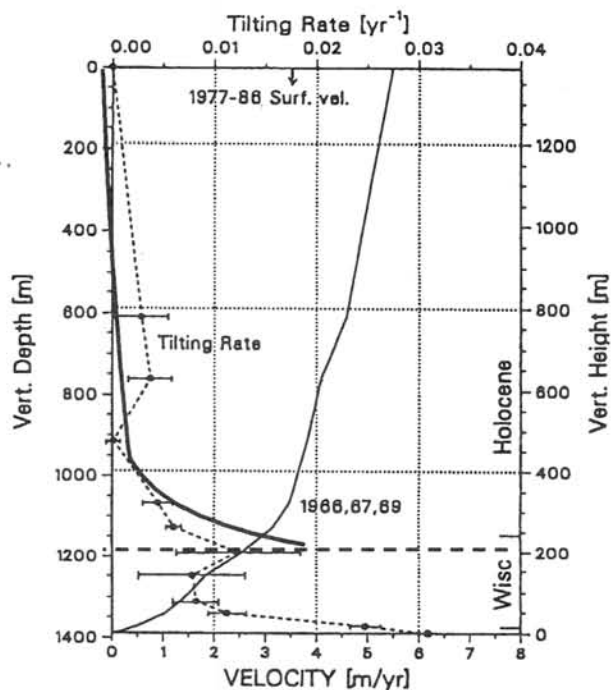


Dye3



(Shoji and Langway, 1987)

Camp Century



(Gundestrup *et al.*, 1987)

図. 新しい流動則により得られた流動特性 (各グラフの太い実線) と力学試験および掘削孔の傾斜の測定結果との比較. Enhancement factor は氷の流動のしやすさを表す.

## 南極H15コアに存在する固体微粒子

### —火山シグナルの可能性—

佐藤竜央（日大文理）、福岡孝昭（立正大地球）、河野美香（極地研）

林伸幸（日大文理）、藤井理行（極地研）、遠藤邦彦（日大文理）

## Micro solid-particles in H15 ice core from Antarctica

### — Possibility of volcanic signal —

T.Sato (Nihon Univ.), T.Fukuoka (Rissho Univ.), M.Kohno (NIPR)

N.Hayashi (Nihon Univ.), Y.Fujii (NIPR), K.Endo (Nihon Univ.)

Various micro solid-particles were found in ice core from site H15, Antarctica.

The numbers varied with depth of ice core. Particularly, the colorless and transparent particles under the size of  $10\mu\text{m}$  synchronized with change of electrical conductivity and sulfur ion. Most of the Estimate age of the particle-abundant sample were correspondent with the age of volcanic eruptions in the world. The results suggest that observed colorless and transparent particles included tephra by volcanic eruption.

#### 1. はじめに

巨大な火山噴火により成層圏まで噴き上げられた火山ガスは、水蒸気と結合してエアロゾルとなり、極域の氷床内部に取り込まれている (Hammer et al.1980など)。テフラ微粒子も取り込まれていれば、化学組成を求めることによって給源火山を特定しうる。したがって、その噴火年代から数十万年前の氷床コアに絶対年代を決定することが可能になる。

ここでは、南極H15コアを融解・濾過し、フィルタ上を観察した結果、様々な固体の微粒子を確認したので報告する。

#### 2. 実験方法

南極H15地点 ( $69^{\circ}04'N, 40^{\circ}47'E$ ) の氷床コア (直径10cm、全長120.2m) の上部62.2m (厚密と電気伝導度の季節変化による推定年代1818~1991年) の中で、ECM (固体の電気伝導度) が高い部分について、断面積1/4、7~10cm長に切断・融解、孔径 $0.2\mu\text{m}$ のフィルタで濾過した。このフィルタ (全92枚) 上を、実体顕微鏡 (416倍) で観察し、固体微粒子を大きさ、色、形別に計数した。

#### 3. 結果・考察

直径 $10\mu\text{m}$ に満たない無色透明の微粒子数のピークは、ECM及び融氷水の硫酸イオン濃度の変化と同調する。又、その推定年代の大半は、世界各地の巨大噴火の年代と対応する (図.1)。これらの事実は、フィルタ上の直径 $10\mu\text{m}$ 未満の無色透明の固体微粒子がテフラである可能性が強いことを示している。今後、これらがSEM像による形態観察と主成分組成からテフラ微粒子であることを確認する必要がある。

テフラであれば、希土類元素等の微量元素組成から給源火山を特定し、その噴火年代から氷床コアの絶対年代を求めることができる。更に共存するエアロゾルの量との関係から噴火の性質、規模を知ることが可能になる。



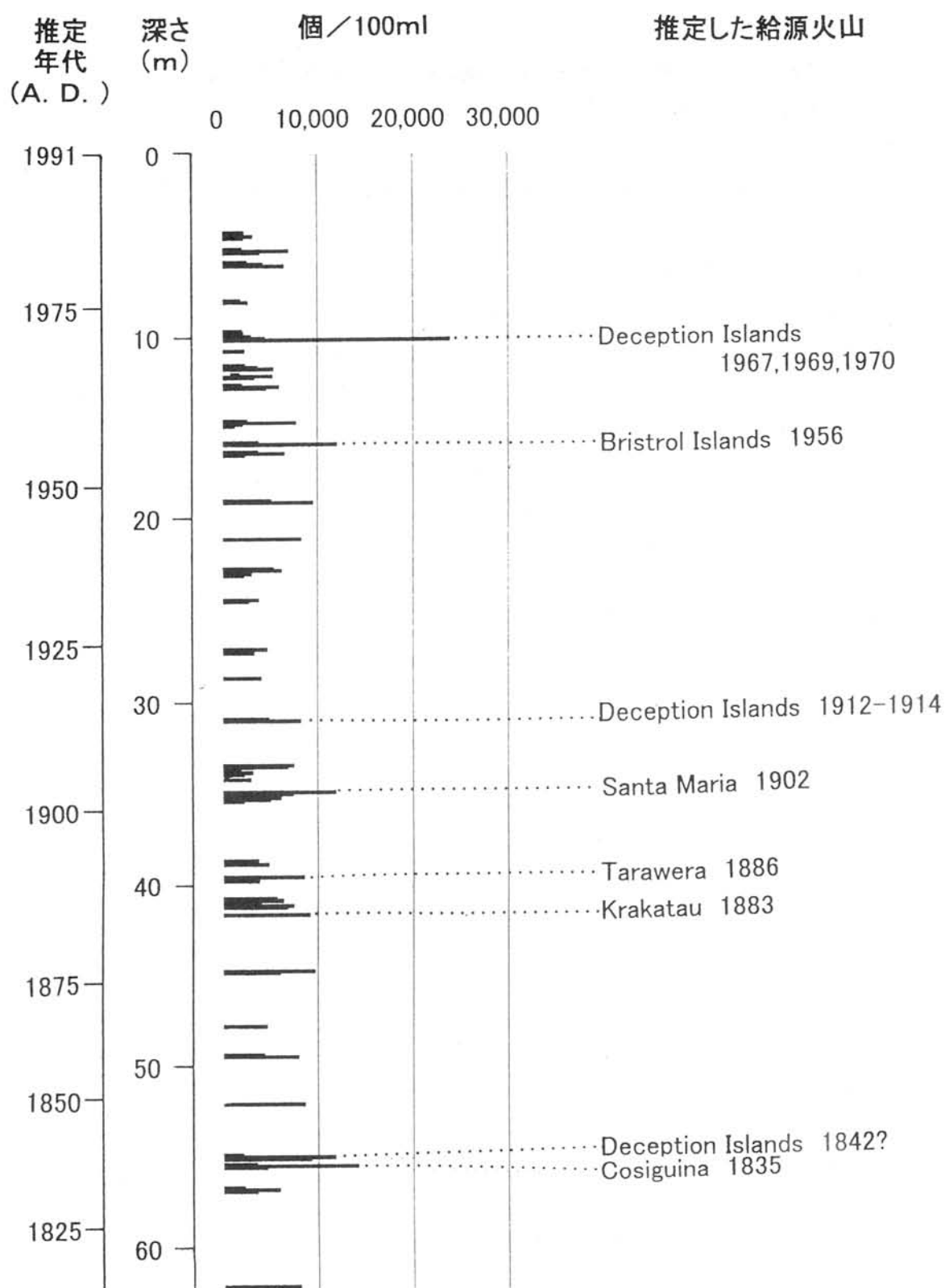


図. 1 直径10  $\mu$ m未満の無色透明の固体微粒子数  
※推定年代は、Kohno et al. (1999)による

## アミノ酸ラセミ化法をもちいたアイスコア年代測定に関する研究

中澤文男・大田啓一・中尾正義・藤田耕史・上田豊（名大・水圏研）  
韓健康（湖南師範大学）・竹内望（東工大）

Study on ice core dating by amino acid racemization method

F. Nakazawa, K. Ohta, M. Nakawo, K. Fujita, Y. Ageta (IHAS, Nagoya University),  
J. Han (Hunan Normal University) and N. Takeuchi (Tokyo Institute of Technology)

As a preliminary study for ice core dating by amino acid racemization method, 3 firn samples from Chongce Ice Cap, West Kunlun Mountains, China, were examined for amino acids. Amino acids of particulates in the samples were analyzed by the capillary gas chromatographic method. The following amino acids were found in the samples, alanine, glycine, leucine, aspartic acid and glutamic acid. Further, D-, L-isomers of aspartic acid and glutamic acid were detected. These results show the possibility that amino acid racemization method can be used for dating of ice cores.

### 1.はじめに

氷コアの年代は季節変化のシグナルを数えることで推定されてきた。しかし氷が堆積したのち融解を経験する中低緯度の氷河コアは季節変化のシグナルが失われるため、氷コアの年代推定は困難であった。また中低緯度氷河コアの特徴として、汚れ層に藻類・バクテリアを含むことがあげられる(Kohshima, 1984, 1987)。このような中低緯度氷河の氷コア年代推定にはアミノ酸ラセミ化法が適用できる可能性がある。アミノ酸には立体構造の異なる L 体・D 体といわれる異性体が存在する。生体を構成するアミノ酸は一部のバクテリアを除いて L 体である。しかし生物の死後、L 体アミノ酸は D 体アミノ酸へ時間とともに変化し、その割合が等しくなるまでこの反応は続く（ラセミ化）。この D 体と L 体との割合から年代を推定するのがアミノ酸ラセミ化法である。この方法は海底堆積物の年代測定法として堆積物に含まれる有孔虫殻化石のアミノ酸をもちいて確立されてきたもので、アミノ酸にして数百ナノグラムの試料で分析がおこなえる利点がある。また、アミノ酸のラセミ化反応速度がそれぞれ違うため、もちいるアミノ酸により適用できる年代範囲が広いことも利点としてあげられる。本研究の目的は氷コアに含まれるアミノ酸の濃度レベルを把握すること、ならびにアミノ酸の異性体比をもとめ、氷コアの年代測定法としてアミノ酸ラセミ化年代測定法が適用可能か否かを検討することである。

### 2.試料および分析方法

予備実験として、中国崑崙の崇測氷帽のフィルンコア3サンプルについて分析を行った。もち

いたサンプルはそれぞれ約100gであり、融解したサンプルを吸引ろ過した後、ろ紙を加水分解、イオン交換樹脂によるアミノ酸の精製操作を行った。その後、イソプロピルアルコール/塩化アセチルでアミノ酸のカルボキシル基のエステル化を行い、次にトリフルオロ酢酸無水物/塩化メチレンでアミノ基のアセチル化を行い誘導体化を完了した。アミノ酸の誘導体試料は最終的に塩化メチレン溶液としてガスクロマトグラフ（GC）で分析した。

### 3.結果

GC分析の結果アラニン、グリシン、ロイシン、アスパラギン酸、グルタミン酸の存在が確認された。またアスパラギン酸、グルタミン酸については異性体の存在も確認され、アスパラギン酸のD/L比は0.10~0.15、グルタミン酸のD/L比は0.12~0.20であった。海底堆積物の温度環境下（2℃）で、アスパラギン酸の適用年代が数百年から数万年、グルタミン酸については数十万年から数百万年オーダーの年代測定に適しているとの報告がある（Harada and Handa, 1995）。今回の予備実験で、アスパラギン酸とグルタミン酸のD/L比が測定できたので、広い年代範囲にわたってアミノ酸ラセミ化法が氷コアに適用される可能性が示された。

シンポジウムではネパール・ヒマラヤ、リッカサンバ氷河の氷コアを用いた分析結果についても発表する予定である。

### 参考文献

- Harada N. and Handa N. (1995): Amino acid chronology in the fossil planktonic foraminifera, *Pulleniatina obliquiloculata* from Pacific Ocean. *Geophys. Res. Lett.*, **22**, 2353-2356
- Kohshima, S. (1984): Living micro-plants in the dirt layer dust of Yala Glacier, Nepal Himalaya. *Glacial Studies in Langtang Valley (Ed. K. Higuchi) Data Center for Glacier Research, JSSI, publ. No.2*, 91-97.
- Kohshima, S. (1987): Formation of dirt layers and surface dust by micro-plant growth in Yala (Dakpatsen) Glacier, Nepal Himalayas. *Bull. Glacier Res.* **5**, 63-68.

## 全球水同位体循環モデルとその極域水循環への応用

沼口 敦 (北大・地球環境), 杉本 敦子 (京大・生態研)

### Global Water Isotope Circulation Model and its application to hydrological cycle in polar regions

NUMAGUTI Atusi (Hokkaido University), SUGIMOTO Atsuko (Kyoto University)

A Global Water Isotope Circulation Model has been developed based on the CCSR/NIES Atmospheric General Circulation Model (AGCM). The isotopic components of water, HDO and  $\text{H}_2^{18}\text{O}$ , are separately treated in the AGCM and their fractionation processes due to condensation and evaporation are incorporated. The results shows successful reproduction of observed isotope ratio in the polar region only in the case of successful simulation of precipitation amount, which is attained by an adequate treatment of large-scale transport of water vapor. These results suggests importance of delicate water transport processes in the polar region and potential usefulness of isotope in the studies on hydrological cycle.

#### はじめに

水の安定同位体は、氷コアを用いた過去の気温変動の復元などによく用いられている。その根拠となるのは、現在観測される降水中の同位体比と気温との強い相関関係であるが、この関係は現在の地理的分布をもとにした経験的なものであり、それがそのまま過去の気候の変動にも適用できるかどうかには疑問が残る。そこで、大気大循環モデルを用いて安定同位体の変動を再現し、過去の気候変動の復元の妥当性を調べる試みが過去に2,3例行われている (Joussaume and Jouzel, 1993 など)。

水の安定同位体はまた、大気の水循環の研究にも用いられてきている。例えば、 $d = \delta\text{D} - 8\delta^{18}\text{O}$  で表される  $d$ -excess (ただし、 $\delta\text{D}$ ,  $\delta^{18}\text{O}$  は、それぞれ HDO,  $\text{H}_2^{18}\text{O}$  の存在率の、平均海水からのずれの千分率) を用いて、降水をもたらし水蒸気の起源や輸送経路について定性的に分析したの研究例がある。しかし、 $d$ -excess や  $\delta$  値は陸面からの蒸発の他、凝結過程や降水の蒸発などさまざまなプロセスによって決まっており、それらの情報を重畳的に持ち合わせている。このため同位体のデータから水循環に関して定量的な情報を引き出すためには、これらの過程を表現する同位体循環のモデルを利用する必要があると考えられる。

そこで本研究では、水の安定同位体を用いた水循環の研究に用いることを目的とした全球水同位体循環モデルを構築し、特に極域に着目して、同位体を用いた水循環研究の可能性について探る。このような水循環過程が同位体比に及ぼす効果を検討することは、氷コアからの気候復元の妥当性や精度の評価、さらには気温以外で古気候に関する情報の抽出などにも有用であると思われる。

#### 全球水同位体循環モデルの概要

基本大気モデルとして、CCSR/NIES 大気大循環モデル (AGCM) を用いる。ここでは、水平分解能 T42 (約 300km 格子)、鉛直 11 層のものを使用している。降水モデルは Arakawa-Schubert 型積雲対流および雲水予報型大規模凝結、陸水は 1 層バケツモデルである。

同位体の扱いは、基本的に Jouzel *et al.* (1987, JGR) と同様とする。海面からの蒸発、雲水の凝結、降水の蒸発などの相変化において、平衡および動的分別効果を考慮する。平衡分別係数は気温の関数として与え (Majoube, 1970, 1971; Merlivat and Nief, 1967), 雪形成時の動的効果は気温と過飽和度の間に簡単な関係を仮定して Jouzel and Merlivat (1984) に従って与え、降水の蒸発時の動的効果は Stew-

art (1975) に従う。簡単のため、陸面からの蒸発においては分別は起こらないと仮定する。

## 2つの実験：水蒸気輸送の扱いの違い

ここでは、大気中の水蒸気の輸送過程が同位体比にどう影響するかを調べるために、以下の2つの輸送過程の表現を用い比較実験を行う。

### 1. スペクトル法 (SPCT):

CCSR/NIES AGCM 標準の輸送過程である。スペクトル法はフーリエ変換(を拡張したもの)を用いているため、高精度ではあるが、本来出るべきでない負の値が出たり、オーバーシュートにより飽和すべきでないところが飽和する、などの問題点がある。これは極域ではかなり大きな問題となりうる。

### 2. 格子法 (GRID):

スペクトル変換を用いず、純粋に格子上で輸送を計算することで負の値やオーバーシュートが起こらないようにすることが可能である。ここでは、van Leer 差分法を用い、flux-form semi-Lagrangian 法によって極の問題を回避した格子法を同位体を含む水蒸気の輸送に適用した(沼口, 気象学会 1999 年秋季大会予稿集)。

初期値の同位体比は、地表面、大気とも全て  $\delta = 0$  とし、季節変化を入れて数年間積分した結果を解析する。

## 結果の比較

図1は、南極大陸周辺の年間降水量を比較したものである。南極大陸内部ではGRIDの降水量のほうがSPCTに比べてかなり少ない。たとえば南極点付近では、SPCTが年間200mm以上であるのに対しGRIDは50mm程度である。年間積雪量の観測値から推定した降水量はGRIDの結果と整合的であり、SPCTは明らかに過大評価となっている。

図2には、南極大陸上の冬期降水中の同位体比( $\delta^{18}\text{O}$ )の結果を示す。SPCTの結果は南極大陸内部で周辺よりも同位体比が高くなっているが、GRIDではそのようなことはなく、内部での $\delta$ 値はSPCTに比べてかなり低い。

図3は、観測値、SPCT、GRIDでの気温と $\delta^{18}\text{O}$ との関係の散布図を比較したものである。SPCT、GRIDとも気温との相関は高いものの、SPCTでは寒冷域の $\delta^{18}\text{O}$ を過大評価しており、

同位体比の気温依存性が小さい。これに対し、GRIDではほぼ観測と整合的な関係を再現している。

## 結論

以上の結果をまとめると、「水蒸気の輸送過程としてより適切な表現(GRID)を用いると、降水量のみならず、同位体比も現実に近い」といえる。このことは、降水の同位体比の観測によって大気モデルの検証が可能であり、また同位体収支を調べることによって水蒸気の輸送過程や極域の水収支に関する何らかの情報が得られる、という可能性を示唆している。

今後は、氷コア等の情報を用いた水循環変動の把握の可能性についてさらなる検討を加えるとともに、同位体比からの過去の気候復元の妥当性などについても検討して行きたい。

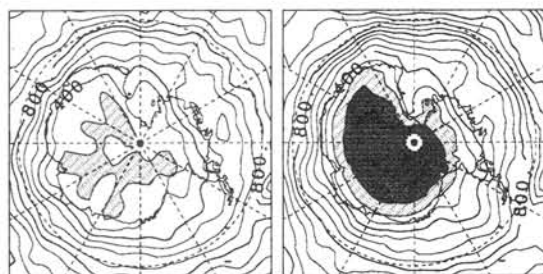


図1. 南極付近の年間降水量. 左: SPCT, 右: GRID (陰影は200mm以下と100mm以下)

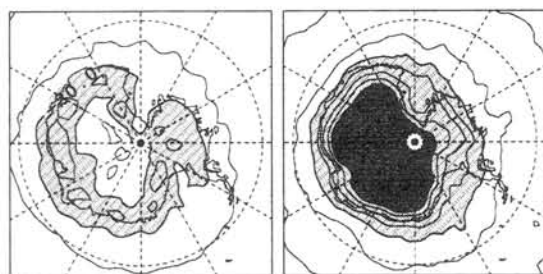


図2. 南極付近の $\delta^{18}\text{O}$  (JJA 平均). 左: SPCT, 右: GRID (陰影は-20以下と-40以下)

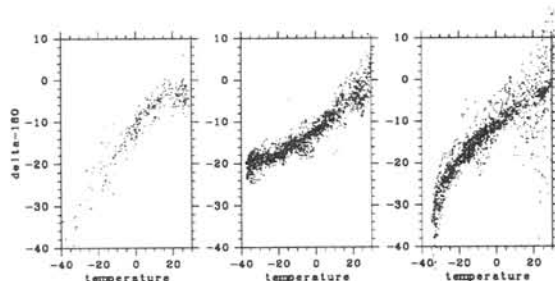


図3. 気温と $\delta^{18}\text{O}$ の散布図(DJF平均). 左: 観測, 中: SPCT, 右: GRID



### 1999 年末までのドームふじ深層コアの基本解析成果

#### ドーム計画基本解析グループ

#### The basic analyses on Dome Fuji deep ice core in 1999

#### Ice core consortium

The basic analyses on Dome Fuji deep ice core were intended to make clear the general information for climatic signals recorded in the whole core length, which will help to give the general view to the various researchers engaged on the ice core. The basic analyses treated on the signals of stable isotopic ratio, the impurity of terrestrial or oceanic origins, greenhouse gases and physical properties. The results reveals that the core covered 3,400 k year and contained 3 glacial-interglacial cycles, with various intensity of signals. The discussion will help the further analyses for the change on the climatic environments concentrated on some events recorded in the ice core.

日本南極観測隊がドームふじで採取した深さ 2503m までの深層氷床コアについて氷床コアに含まれる各種コア・シグナルの解読を進めている。

コア全体について同位体変動、陸海域起源物質の変動、温室効果気体の変動、氷の物性などを中心にそれぞれ個別の分析・解析対象について基本解析を行った。

1): 融解試料を作成し、気温の指標となる酸素・水素同位体組成のコア全層解析を行い、コア試料に含まれる溶存性の海洋起源物質・陸域起源物質・火山起源物質などを明らかにした。 2). コアに含まれる気体が示すシグナルの抽出方法を検討し、温室効果気体濃度の変動と気候変動に伴う温室効果気体の挙動の概要を明らかにした。 3). 氷の物性測定手法を駆使して、氷床コア中に含まれるさまざまな過去の気候・環境シグナルを抽出した。今後さらに氷床変動モデルを構築し、気候変動と氷床変動の相互作用をシミュレートする基礎ができた。

以上得られた結果の一次解析で、氷床コアの年代決定、各種コアシグナルの抽出、シグナルの概要の解明を行った。コア年代の決定では、複合的な方法論により高精度のコア年代決定方法の確立を目指し、コアは3回の氷期サイクルを含む過去34万年をカバーする堆積層であることを明らかにした。得られたコア年代軸にもとづき、今後さらに細かな年代に焦点を当てコアシグナルと環境変動を議論する。1999 年末でドームふじコアの基本解析研究はほぼ完了するが、その全容について報告する。

## 南極ドームふじにおける過去 35 万年間の水素同位体比 及び d-excess 変動とその解釈

中尾正義<sup>1</sup>, 渡邊興亜<sup>2</sup>, 本山秀明<sup>2</sup>, 吉田尚弘<sup>3</sup>, 末吉哲雄<sup>4</sup>,  
橋本重将<sup>1</sup>, 栗田直幸<sup>3</sup>

(<sup>1</sup> 名大水研, <sup>2</sup> 極地研, <sup>3</sup> 東工大, <sup>4</sup> 東京大学)

Deuterium isotope and deuterium excess records of the past 350-kyr  
from DOME Fuji ice core, Antarctica

M. Nakawo<sup>1</sup>, O. Watanabe<sup>2</sup>, H. Motoyama<sup>2</sup>, N. Yoshida<sup>3</sup>, T. Sueyoshi<sup>4</sup>, M. Hashimoto<sup>1</sup>, & N. Kurita<sup>3</sup>

(<sup>1</sup>Institute of Hydrologic Atmospheric Science, <sup>2</sup>National Institute of Polar Research, <sup>3</sup>Tokyo Institute of Technology, <sup>4</sup>University of Tokyo)

From DOME Fuji ice core, deuterium isotope and deuterium excess records of the past 350-kyr are presented. When deuterium isotope and deuterium excess history is compared with Vostok data, the variation pattern is almost the same, although absolute values have some differences. In the case of deuterium excess, the spectral analysis indicates the presence not only of the Earth's orbital obliquity ( $\sim 41,000$ -year periodicity), but also of a long term periodicity ( $\sim 130$ -kyr periodicity).

**はじめに** 氷床コアや降雪の中に残されている水素( $\delta D$ )や酸素( $\delta^{18}O$ )の安定同位体比は過去の気温に関する情報を我々に提供してくれるだけでなく、その水素及び酸素同位体比を使って定義される d-excess ( $\delta D - 8 \times \delta^{18}O$ ) から過去に降雪をもたらした水蒸気塊の起源に関する情報も与えてくれる。本研究は、このような同位体の特徴を使って南極ドームふじにおいて採掘された氷床コアから過去 35 万年間に南極に移流してくる水蒸気塊の起源の変化を明らかにすることを目的としている。  
**同位体比分布** 今回測定した南極ドームふじにおける過去 35 万年間の水素同位体比及び d-excess 値を SPECMAP 年代軸に対して図 1 に示してある。ドームふじの水素同位体比は氷期、間氷期を通し

て Vostok の水素同位体比と比べて約 10‰ 重い、その変動は Vostok とほぼ一致していた。一方 d-excess は氷期-間氷期を通して Vostok の方が常に 2～3 ‰ 程度大きいが、その変動は Vostok の d-excess データが公開されている過去 15 万年分については、ほぼ一致していた。

次に今回測定された過去 35 万年間のデータについてパワースペクトル解析を行った所、Vostok と同じく地軸傾斜の効果による卓越した 4 万年周期がみられたが、これ以外にも 13 万年周期という長周期変化がみつかった。この結果は非常に長期間のデータを保存しているドームふじ試料を使った解析をすることによって今回初めて明らかにすることができたものである。

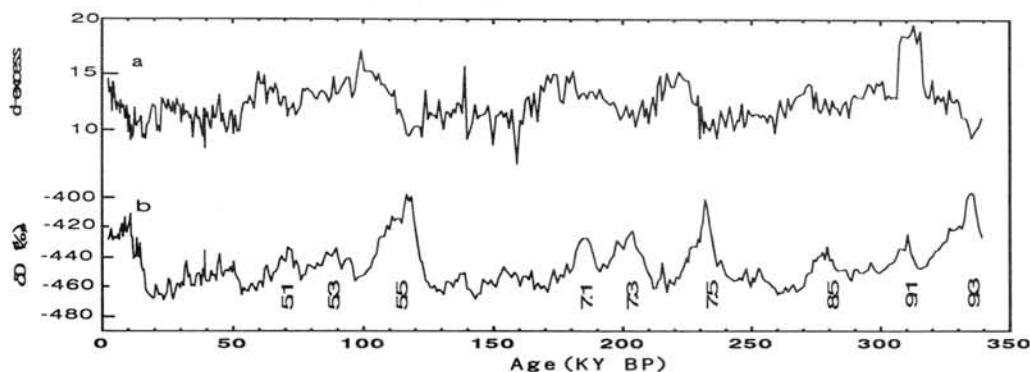


図 1 南極ドームふじにおける a) 水素同位体比及び b) d-excess 変化。  
図中の数字はステージ番号を表している。

## 南極ドームふじコア火山灰層に含まれる火山ガラス —その化学組成と給源—

○河野美香・藤井理行 (極地研)・的場澄人 (北大低温研)

Volcanic glasses in tephra layers found in the Dome Fuji ice core,  
Antarctica: their chemical compositions and probable sources

Mika KOHNO, Yoshiyuki FUJII (NIPR) and Sumito MATOBA (ILTS)

Major chemical compositions of volcanic glasses in 25 tephra layers, which have been found in an ice core from Dome Fuji Station, Antarctica, were determined using a wavelength dispersive electron microprobe analyzer. The glasses were a few tens micro meter-sized pumiceous grain. The glasses were divided into three types: (1) tholeiitic basalt to dacite, (2) calc-alkaline andesite and (3) trachyandesite to trachyte. Their sources were considered to be volcanoes in (1) South Sandwich Islands, (2) South Shetland Islands and/or southern part of the volcanic zone of Andes and (3) Marie Byrd Land, respectively.

火山噴火に伴って大気中に放出された火山灰粒子は、大気大循環によって極域に運ばれ沈降し、雪とともに氷床に堆積する。南極ドームふじ (77°19'S, 39°42'E, 3810 m a.s.l.) で掘削された 2503m 深層コアには、極めてうすい茶色あるいは灰色に色付いた層として、目で確認できる火山灰層が 25 層確認された (Fujii et al., 1999)。これらに含まれる火山ガラスの化学組成に基づいて給源火山を特定することにより、過去の火山噴火活動を復元することができる。また、このような火山灰層は、火山起源硫酸シグナルと同様にコアの示準層として有効である。特に、噴出年代が明らかにされている主要な広域火山灰を含んでいる場合、その火山灰層は年代を与える示準層になる。本研究では、これらの火山灰層に含まれる火山灰粒子の粒径および形態、火山ガラスの主成分化学組成を明らかにし、それらの給源火山を推定する。

低温実験室に設置されたクリーンベンチ内で、刃先が 5 mm 程度の平型ステンレス製ナイフを用い、コアの火山灰層部分の表面を 0.5 mm 程度削り、コンタミネーションを取り除いた。融解水の量にして 1~2  $\mu$ l 程度の氷試料を採取し、直ちに 50  $^{\circ}$ C に設定したヒーター上のスライドガラスに載せ、融解・乾燥させた。スライドガラス上に残った火山灰粒子をエポキシ系樹脂で固め、10  $\mu$ m 厚に鏡面研磨した。波長分散型 X 線マイクロアナライザー (EPMA-WDS, JEOL-JXA 8800) を用いて、各粒子の岩石組織を記載し、火山ガラスの主成分化学組成を明らかにした。

火山灰粒子は、いずれも平均粒径が 20  $\mu$ m 程度の軽石型粒子が主体であった。このことは、これらを噴出した火山は、ドームふじコア掘削地から比較的近い場所に位置することを示唆する。火山灰の石基組織に基づくと、微細な結晶 (微斑晶や微晶) を多く有する石基と、それらをほとんど有しないガラス質の石基に分類された。主成分化学組成に基づくと、(1) ソレライト系列玄武岩~デイサイト、(2) カルクアルカリ系列安山岩、(3) アルカリ系列の中性岩に分類された。南極およびその周辺の火山近傍で採取された火山噴出物の化学組成に基づいて、(1)~(3) に属する火山灰を噴出した火山を、それぞれ次のように推定した。(1) サウスサンドウィッチ諸島の火山、(2) サウスシェトランド諸島あるいはアンデス山脈南部の火山、(3) マリーバードランドの火山。ドームふじコア掘削地点より 3000km 以上も離れた場所にあるこれらの火山から噴出した火山灰は、上部対流圏あるいは成層圏を経由し、南極大陸内陸部のドームふじまで運ばれたと考えられる。

## 南極ドームふじ深層コアのガス分析

中澤高清、川村賢二、青木周司（東北大院）、渡辺興亜（極地研）

### Gas analysis for Antarctic deep ice core, Dome Fuji

Takakiyo Nakazawa, Kenji Kawamura, Shuji Aoki (Tohoku University)  
and Okitsugu Watanabe (NIPR)

In order to reconstruct variations of atmospheric components over three glacial-interglacial cycles, air samples were extracted from an Antarctic ice core, Dome Fuji by using a melting method and analyzed for the  $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}_2$  and  $\text{N}_2\text{O}$  concentrations and isotopic ratios of  $\text{N}_2$  and  $\text{O}_2$ . The results obtained so far showed (1) that the  $\text{CH}_4$  concentration was about 400 ppbv in glacial maximum and about 700 ppbv during the interglacial period, (2) that the  $\text{CH}_4$  concentration varied in accordance with  $\delta^{18}\text{O}$  of ice, suggesting good correlation between the strength of methane sources and the temperature, (3) that measured values of the  $\text{CO}_2$  concentration were approximately 280 ppmv for the Holocene, which are close to the results obtained previously using the dry air extraction system, and as low as 200 ppmv around the last glacial maximum, and (4) that the  $\text{N}_2\text{O}$  concentration also correlated well with  $\delta^{18}\text{O}$  of ice, except for a few high concentration values.

#### 1. はじめに

氷期-間氷期サイクルにわたる温室効果気体の変動を再現することは、地球表層における物質循環や気候変動との関わりを理解する上で不可欠である。われわれは、南極ドームふじ基地で掘削された深層氷床コアから過去35万年に及ぶ温室効果気体の変動を明らかにすべく分析を開始した。本シンポジウムにおいては、融解法によってこれまでに得られた $\text{CH}_4$ 、 $\text{CO}_2$ および $\text{N}_2\text{O}$ の濃度および $\text{O}_2$ と $\text{N}_2$ の同位体比の結果について報告する。

#### 2. 実験概要

本研究では、各々の空気抽出のために長さ約12 cm、重さ約400 gのAコア試料を用いた。汚染を排除するために、脱脂したカッターナイフを用いてコア表面を除去した後（約50 g）、ステンレス製の抽出容器に入れ、次に、抽出容器を常温の実験室に設置した-20℃のアルコールバスに浸し、ターボポンプを用いて2時間以上にわたって真空排気した。この操作によって、抽出容器内部の気体が排気されると同時に、氷が2 gほど昇華することにより、さらに試料表面が清浄にされる。真空引きの後、抽出容器を温浴バスに徐々に浸し、氷から解放された空気を-100℃に冷却された水トラップで除湿した後、ヘリウムサイクル冷却器によって-263℃に冷却された、外形1/4インチ、内容量約6 mlのステンレス製サンプリングチューブに転送・捕集した。抽出された空気を均一に混合させるために、サンプリングチューブは一晩横向きに静置した後、分析に供せられた。抽出空気試料は、まずガスクロマトグラフを用いて $\text{CH}_4$ 、 $\text{CO}_2$ 、 $\text{N}_2\text{O}$ の濃度を分析し、次に $\text{N}_2$ 及び $\text{O}_2$ の同位体比を質量分析計で分析した。融解法は空気の回収効率が100%であるので、濃度分析の際に試料圧を測定することにより空気含有量も測定した。

#### 3. 結果

これまでに得られた $\text{CH}_4$ 、 $\text{CO}_2$ および $\text{N}_2\text{O}$ の濃度を氷の $\delta^{18}\text{O}$ と共に深度に対して図1に示す。なお、空気はフィルムの底部で大気と隔絶されるため、同深度の氷より空気の方が年代が新しい。現在のドームふじでの氷化深度は約100 mであるので、同じ年代の氷と空気の間には深さにして数10 mの差があると考えられる。まだ分析試料が限られているので、詳細な変動について議論する段階ではないが、今日までに得られた結果から特徴的な変動について見てみる。

CH<sub>4</sub>濃度は、最終氷期最盛期に相当する600m付近で約400ppbvであり、氷期-間氷期の移行期には気温の上昇とともに急増し、Holoceneには約700ppbvになっている。このようなCH<sub>4</sub>濃度と気温との良い相関から、気候変動に伴ってCH<sub>4</sub>の放出源強度が大きく変化していたことが推察される。

融解法を用いて抽出した空気のCO<sub>2</sub>濃度は、数10から数100ppmvも高くなるというのがこれまでの常識である。その主な原因として、氷に含まれる炭酸塩が新たなCO<sub>2</sub>を生成することが考えられている。しかし、ドームふじコアの分析結果は、Holoceneの値として約280ppmvを示しており、これまでにコア試料を溶かすことなく空気を抽出した分析とほぼ一致しており、また最終氷期最盛期には200ppmvを下回る低濃度が得られた。この結果から、ドームふじコアに含まれる炭酸塩が非常に少ないことが示唆される。氷コアを溶かさないうちけ法によって融解法による値の詳細な検証を間もなく行うが、本研究によって、コアの質によっては融解法でもCO<sub>2</sub>濃度が分析できる可能性が初めて示されたといえるだろう。

N<sub>2</sub>Oは水への溶解度が比較的大きいため、融解法では、数~10ppbv程度低く出ることがわれわれの今日までの研究から分かっているが、大きな変動の様子を知るにはこの程度はあまり問題にならない。ドームふじコアから得た結果は、最終氷期とその前の氷期の最盛期に、共通して高濃度が見られる。これらの点を除いては、気温との相関があるように見受けられる。

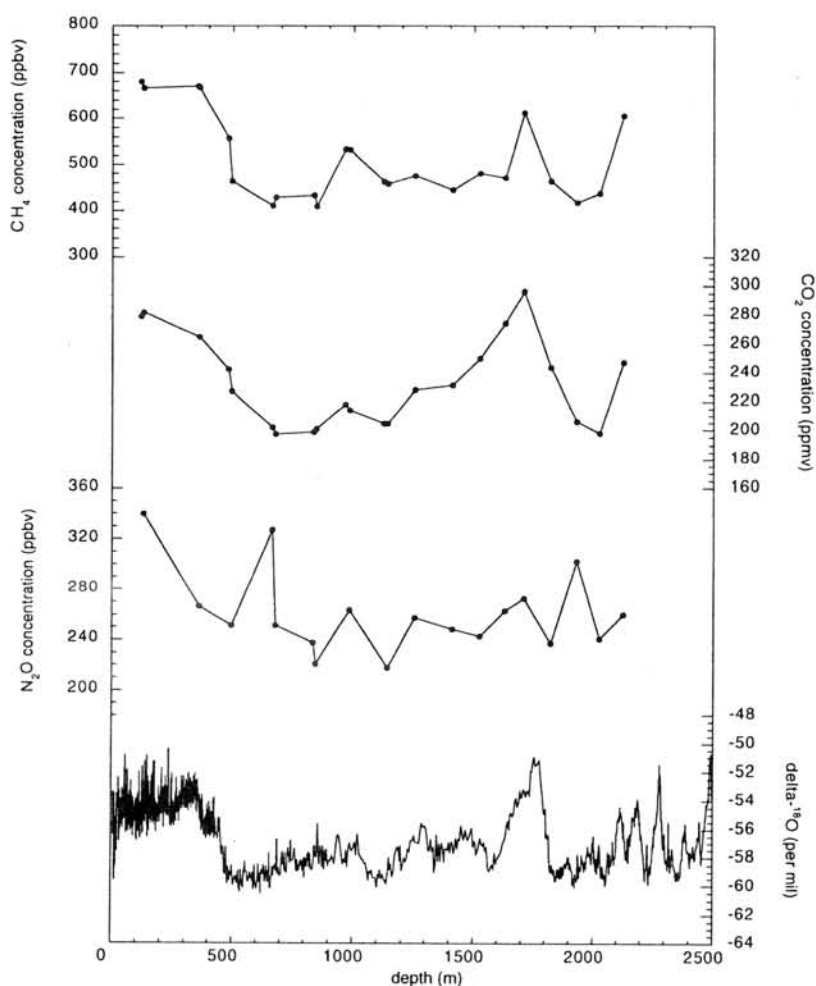


図1 ドームふじ深層コアから抽出した空気を分析して得られた、過去の温室効果気体濃度。上から順に、CH<sub>4</sub>、CO<sub>2</sub>、N<sub>2</sub>O濃度、および氷のδ<sup>18</sup>Oを表す。



## 南極ドームふじ氷床深層コアのもつ電気的特性の概要

藤田秀二<sup>1</sup>、東信彦<sup>2</sup>、本山秀明<sup>3</sup>、松岡建志<sup>1\*</sup>、前晋爾<sup>1</sup>、渡辺興亜<sup>3</sup>

(北海道大学工学研究科 (\*現、通信総合研究所)、長岡技術科学大学機械系、国立極地研究所)

Electrical properties of Dome Fuji Station deep ice core

Shuji Fujita, Azuma Nobuhiko, Motoyama Hideaki, Matsuoka Takeshi, Mae Shinji, and Okitsugu Watanabe

Electrical properties of ice cores are one of key parameters when we try to understand physical processes operating within the ice sheet. It is because electrical properties are closely related to physical properties like mechanical properties, thermo-dynamical properties, crystal physics, and impurities. Therefore it can provide us information on the changes of these properties with depth along the ice. In addition, methods for various measurements are established.

Through ice-core analysis on electrical properties, we have accumulated a huge amount of information on the Dome Fuji Station deep ice-core. In addition to the properties we had predicted, a few new findings have made. We summarize these findings.

氷床の電気的な諸性質は、南極という巨大な大陸氷を研究するうえでのキーの1つである。それは、氷体の動力学的性質、熱的性質、結晶の特性、それに含有不純物と関係し、これらを明らかにしようとする際に直接に関係した物性情報をわれわれに提供する。そのうえ、計測法も比較的整備されているからである。

1998年までに関係各位の多大な努力の末に得られた深層コアの電気的解析を通じ、南極頂上部の氷体の特性に関し、多くの情報が過去数年にわたり蓄積されてきた。あらかじめ予測されてきた電気特性に加え、予測していなかった特異な性質も現れている。現状を以下に概説する。

### 1) 直流および1メガヘルツACの電気伝導度。

南極のコア解析室において、この測定は実施された。酸性不純物を含む層位で、電気伝導値は大きく増大した。これにより、過去に地球上の大气にふくまれていたエアロゾル中の酸性成分を導くことができる。ACでも同様にエアロゾルを反映する信号を導いたが、直流のケースとは有意に異なる。DC伝導度、ACコンダクタンスの双方の伝導度に現れた興味深い現象としては、深層部に行くにつれて、電気伝導度の絶対値の減少した事実が挙げられる。これは、電気伝導パスの変動か、あるいは、何らかの構造変化に起因している可能性があり、今後詳細な分析を要する。1メガヘルツでのサセプタンスは、全層を通してはほぼ一定であった。これは、高周波の誘電率実数部はほぼ全層位にわたり一貫していることを示す。

### 2) マイクロ波誘電率

マイクロ波誘電率の測定(松岡担当)では、周波数として、30~40ギガヘルツ周辺の高周波を使用した。この測定により、南極氷床の氷が実際に複屈折媒体であることがはじめて実証された。高周波の誘電率は、従来のメンデンホール単結晶の測定結果から指摘されてきた結果と一貫し、結晶方位に応じて2つのテンソル成分をもつ。これは氷体内部の電波伝播プロセスを考えるうえで重要な知見であり、氷体内部からの電磁波反射や複屈折はこの実験事実から説明できる。また、結晶ファブリック等にあられる力学的構造をリモートセンシングする際に鍵となる。

### 3) 低周波誘電率

ドーム深層コアの低周波誘電率は、通常の氷(たとえばメンデンホール単結晶や人工多結晶)に比べ非常に小さく、静的誘電率は100をはるかに下回ることが最近の測定により明らかになりつつある。これは、南極氷床頂上部の氷の水素原子の配向に通常の氷とは特異に異なる性質のあることを意味している。これは、近年深沢・前ら(北大工)が主張している「氷中の水分子の秩序配列説」を、電気的性質の側面から裏付ける可能性がある。

### 4) レーダーサウンディング(高周波の電波反射・散乱)

60メガヘルツと179メガヘルツのレーダ探査から以下のことがわかった。ドーム掘削点近傍の氷床は、750m深付近より浅部では、密度変動に起因する電波反射をする。750~1750m深の間では、酸性度変化を主因とする電波の反射を起こす。さらに、それ以深では、結晶ファブリックの変化を主因とする電波反射を起こしている。さらに、このような酸性度の変化や結晶ファブリックの変化はすべて等年代面で起こっている。

上記一連の電気特性はすべて、マクロな量の測定であるが、ドームふじ深層氷の、ミクロな分子配向から、年層オーダーの不純物濃度変化・結晶ファブリックの発達および結晶成長過程や、その集合体としての氷床氷体構造をよく反映している。

### 北極圏学術調査隊(JAGE99-Svalbard)活動報告(1)

#### — 調査・観測の概要 —

渡辺興亜、本山秀明、東久美子、五十嵐誠(極地研)、宮原盛厚(日本リンク株)、永崎智晴(新潟大)、Lars Karlof, Elisabeth Isaksson (Norwegian Polar Institute)

#### Report on the activities of JAGE99-Svalbard(1)

O. Watanabe, H. Motoyama, K. Azuma, M. Igarashi (National Institute of Polar Research), M. Miyahara (Nihon Link Co., LTD.), T. Nagasaki (Niigata Univ.), L. Karlof and E. Isaksson (Norwegian Polar Institute)

An ice coring of 289 m in depth at the Austfonna ice cap, Northeastland, which faces the northern part of Svalbard, Norway, was performed by a Japan-Norway cooperation project in 1999. The physical and chemical properties of the ice core have been analyzed.

#### 1. はじめに

我々はスバルバル諸島各地において1987年から氷河掘削を行ってきた。昨年に引き続き掘削を行った同諸島北東島にはグリーンランドを除くとヨーロッパでは最大規模の氷帽が存在している。東氷帽(Austfonna)は、8450km<sup>2</sup>の面積を有し、氷厚は頂上付近で最大600mにも達する。この氷帽の頂上付近において氷コア掘削を行い、その試料を各種解析することで、周辺地域を代表する気候変動情報、大気環境情報が得られる。昨年は3～4月に掘削を行い、悪天候のため118m深で掘削は終了した。今年は昨年の掘削地点から北に約3km離れた氷帽頂上部(79°50.0'N、24°00.2'E、750m a.s.l)において、深さ289mまでの氷コア掘削に成功した。

#### 2. 調査、活動の概要

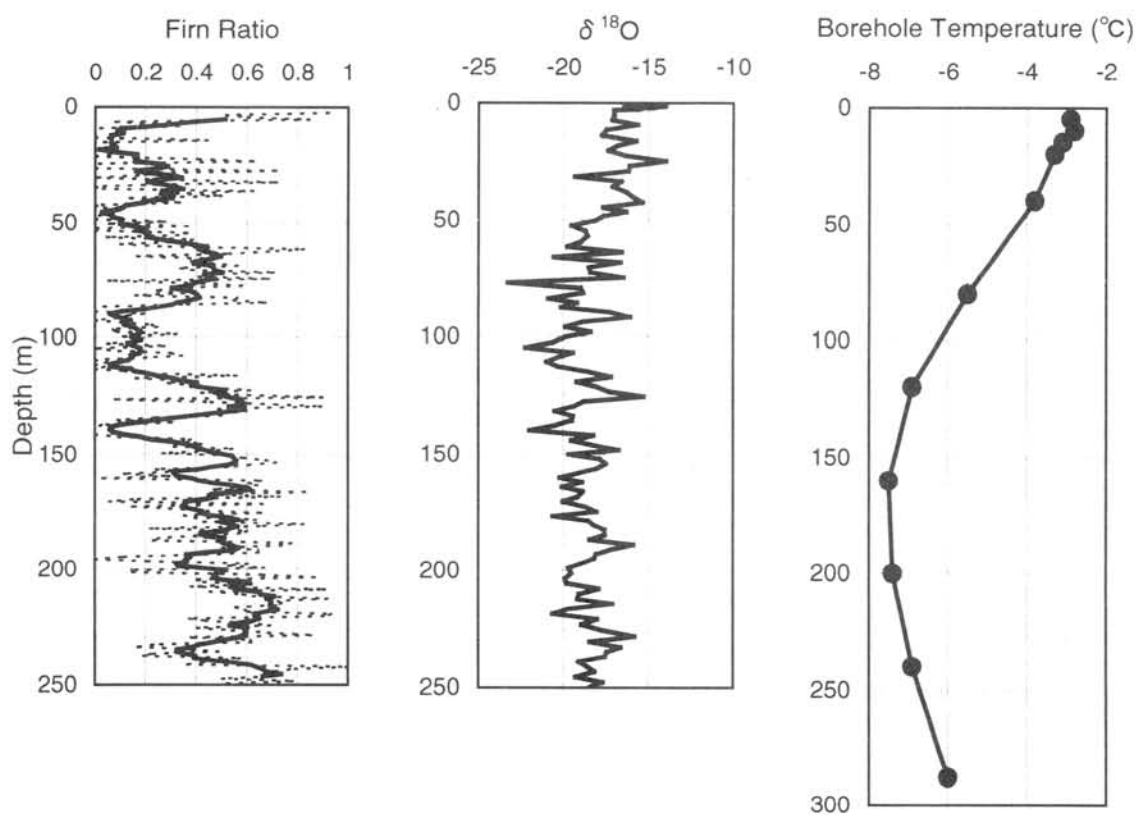
我々の観測と北極圏の質量収支を観測するICEMASS研究グループの観測が、同時期、同地点をベースにして実施されるので、氷河上への輸送に関しては協力して行った。すなわち、両者の物資をまとめて輸送した方が経費及びフライト可能な天候の可能性から有利なので、最初のグループ(ICEMASS)の入山及び最後のグループ(我々)の下山に双発機にてまとめて物資・人員を輸送し、途中はヘリコプターによる人員輸送程度におさめることとした。昨年のICEMASSの観測結果から、氷帽の最高点が、昨年の掘削地点の北3kmであったので、そこを今年の掘削地点とした。4月25日に氷帽へ入山し、キャンプ、掘削場、コア解析トレンチを設営した後、掘削を29日から開始した。昨年暴風雪により、テントがつぶれたりした経験を踏まえて、掘削テントを補強したり、観測時期を遅くしたため、天候にも恵まれて、掘削は順調であった。5月15日に終了し、この17日間にわたる掘削で深さ289.69mまでの氷コアを採取した。深さ20mまで掘り進む間に回収したチップは、環境放射能測定用に採取した。現地では掘削に加えて、気象観測、降雪および着氷観測、雪面付近のエアロゾル、ガス採取、掘削孔を使った氷温観測を行った。2m程度の積雪断面観測は、キャンプ地点で2回、約2.2km離れた地点で1回行った。掘削した氷コアのうち表面から100m深までは、現地に一部切断し、融解して電気伝導度、pHの測定を行った。切断面を用いて固体直流電気伝導度測定も行った。残りの氷コアは、冷凍状態でトロムソにあるノルウェー極地研究所の冷凍庫へ保管し、8月後半に残りのコア処理・解析を行った。

### 3, 現地観測結果

右に現地で観測した融解度(左)、氷温(右)の測定結果を示す。中央には国内で分析した酸素同位体のプロファイルをあわせて示す。融解度は0に近いほどその氷が融けている度合いが高く、反対に1に近いほど融解の影響を受けていないことを示す。したがって、中央に示した酸素同位体プロファイルとは逆相関を示すと考えられる。両者の測定結果を見ると、表層から約50m深までは氷帽上が比較的高温な状態であり、150m深以下は比較的低温であったことが示唆される。50~150mについての両者の関係は、さらに詳細な比較検討が必要である。

氷温は10m深で最高値-2.8℃を示し、深くなるにつれて低温になり160m深で最低値-7.5℃を記録した。その後深さと共に再び上昇に転じた。この変化傾向は95年に掘削した西氷帽の氷温観測値と比較すると、表層付近を除いた全層において約1.5~2.5℃低いものの同じような曲線を示した。

融解度と氷温の測定結果より、この氷コアは全層にわたって氷の保存状態が良好と考えられる。今後、化学主成分分析等を通じてさらに詳細な気候、大気環境情報を抽出する予定である。



図： (a) 融解度(点線は1m平均、実線はその7m移動平均)、(b) 酸素同位体比、(c) 氷温

## 北極圏学術調査隊(JAGE99-Svalbard)活動報告(2)

### — 氷コア化学分析速報 —

五十嵐誠、本山秀明、東久美子、渡辺興亜(極地研)、的場澄人(北大低温研)、  
Elisabeth Isaksson (Norwegian Polar Institute)

#### Report on the activities of JAGE99-Svalbard (2)

M. Igarashi, H. Motoyama, K. Azuma, O. Watanabe, S. Matoba and E. Isaksson

The ice drillings on the glaciers in Svalbard have been carried out by Japanese Arctic Glaciological Expedition since 1987. Environment of Nordaustlandet is the coldest in Svalbard. In Nordaustlandet, we have drilled at the top of Vestfonna ice cap in 1995 and at the top of Austfonna ice cap in 1998 and 1999 (located at 79° 50.0'N, 24° 00.2'E, 750m a.s.l). In 1999, the about 289 m depth ice core was obtained.

The ice core was cut every 40 -- 50 cm long and was divided into halves vertically for ECM *in site*. A part of the half cores was used for chemical measurements. Length of each sample was about 20 cm.

We measured electrical conductivity (E.C.) and pH *in site*, and the concentration of chemical components by ion chromatography at lab in our institute. The vertical profiles of E.C., pH and  $\delta^{18}\text{O}$  from top to 289 m depth and also the five kind of chemical components are shown in Figure.

#### 1. はじめに

北極圏学術調査隊(Japanese Arctic Glaciological Expedition, JAGE)は、スバルバル諸島において 1987 年から数地点で氷河掘削を行っている。同諸島で最も寒冷な気候を有する北東島(Nordaustlandet)では、西氷帽(Vestfonna)で 1995 年に、また東氷帽(Austfonna)で 1998 年と 1999 年(79° 50.0'N, 24° 00.2'E, 750m a.s.l)の 2 度掘削を行った。1999 年度の掘削では 289m に達する氷コアを得た。ここでは、その氷コアの化学解析の結果を報告する。

#### 2. 化学分析試料の作成法、分析方法

氷コアは掘削地点で長さ 40 ~ 50cm 毎に切り分け、ECM 測定を行うため鉛直方向に半割にした。半割にした片方をさらに 1:2 に切り分け、小さい方を化学解析用に使用した。これを 1 試料の長さが約 20 ~ 25cm になるようにさらに切り分け、表面の汚れをセラミック包丁で削り落とした後、超純水で洗浄済みのポリプロピレン製の容器に入れ電子レンジで融解した。電気伝導度と pH の測定は融解直後に行った。同時に国内分析用の試料として約 50ml を、洗浄したポリプロピレン製の容器に入れて冷凍したのち持ち帰った。

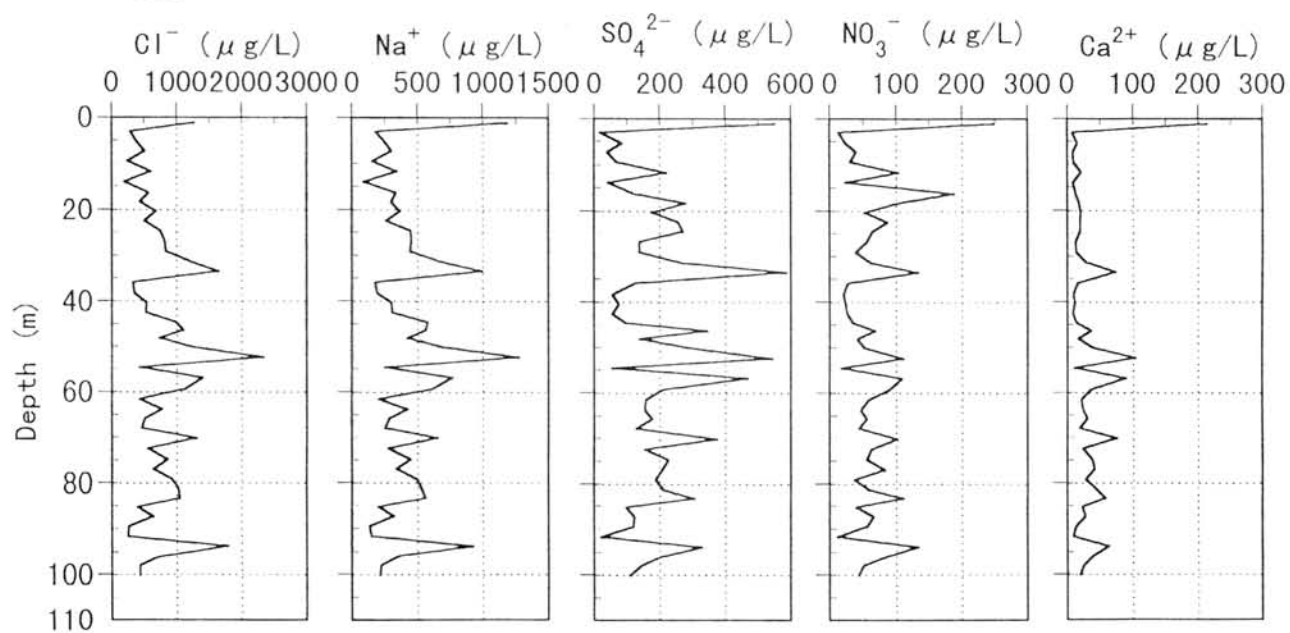
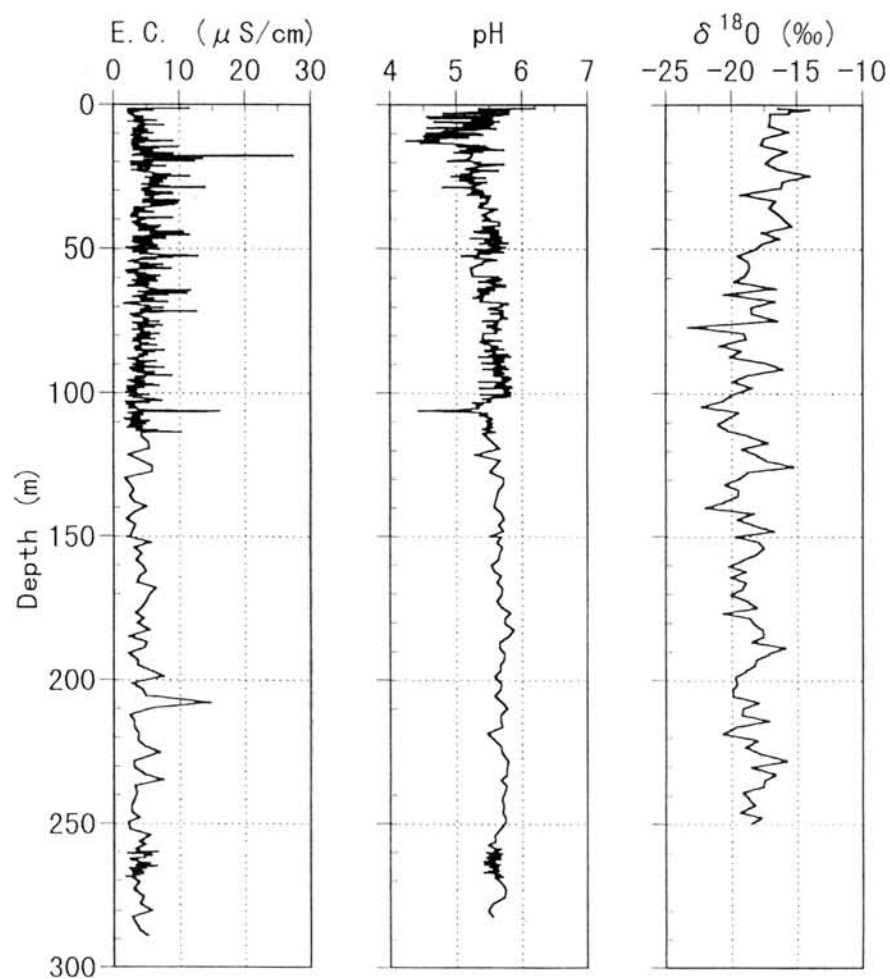
氷コア中の溶存成分の分析をイオンクロマトグラフィーで行った。試料は分析直前まで冷凍保存しておき、室温で融解した。分析の対象とした成分は陰イオン 10 成分、陽イオン 5 成分である。酸素同位体組成分析にもこの試料を使用した。

#### 3. これまでに行った氷コアの化学解析結果

現時点での氷コア解析結果を図に示す。電気伝導度と pH は、114m まで連続解析がほぼ終了している。106.1m 付近には、火山噴火によるものと思われる電気伝導度と pH の特異値が見られた。1995 年の西氷河氷コア解析結果を参考にすると、Laki 火山噴火に起因する可能性が高い。また、電気伝導度には 19.6m 付近にピークがある。現場で測定した ECM にも同様なピークが見られた。

pH は、酸素同位体組成が上昇している 50m 付近から徐々に酸性化し始め、12.6m 付近に強い酸性を示すところが見られた。スバルバル諸島への大気汚染の現れであれば、興味深い結果である。

化学主成分濃度は約 2.0 ~ 2.5m 間隔で表層から 101m まで優先して解析を行った。Cl と Na のプロファイルは、標準海水中の同濃度比とほぼ一致しているため、掘削地点の降水には海塩が豊富に取り込まれていることが明らかである。SO<sub>4</sub> も Cl、Na と非常によく似たプロファイルであるため、ほとんどが海塩起源であると考えられる。海塩に起源を持たない NO<sub>3</sub> は、他の 3 成分とやや変化の傾向が異なるものの高濃度を示す箇所が一致するところも見られた。



Austfonna'99 Ice core の各種解析プロフィール



## シベリア広域積雪の化学特性について

西尾文彦・戸山陽子(北教大釧路)、渡辺興亜・藤井理行(極地研)、小林俊一(新潟大)、高橋晃(通総研)、山田知充(北大低温研)

### Geochemical characteristics on snow cover in Siberia

F. Nishio, Y. Toyama (Hokkaido Univ. of Education), O. Watanabe, Y. Fujii (NIPR), S. Kobayashi (Niigata Univ.),  
A. Takahashi (CRL), T. Yamada (Hokkaido Univ.)

**Abstract;** We understood that the global environment issues are the most urgent problem to which scientific organizations should contribute. The snow cover and glaciers in Siberian continent plays an important role such as to store a huge amount of heat sink and influence a global atmospheric circulation, and that the global warming is feared to cause a serious change of cryosphere of this area. In order to understand the ecological, geological, geochemical and meteorological system in snow cover area and glacier existing area in Siberian region.

#### はじめに

地球規模の大気大循環の中で、極域は物質の収束域にあたるため大気環境変動が顕著に現れると考えられている。シベリア高気圧は北半球の冬季に最も安定した高気圧で、この消長はロシアや日本のみならず北半球の冬季の気候を大きく支配している。シベリア高気圧の循環場では、上部対流圏あるいは下部成層圏で収束された大気が地上で発散されるため、北半球の大気大循環場のバックグラウンドレベルの大気微量物質の変動を探る上で重要なフィールドである。

シベリアの積雪域の変動はアルベド・フィードバックにより、また積雪域の消長は土壌水分量に大きな影響をあたえ、気候変動に密接に関わると考えられているが、ここでの積雪状況はまだ未解明な点が多い。そのために、シベリア高気圧圏内での積雪の化学的特性、同位体特性とともに物理的特性を明らかにし、シベリア高気圧圏における物質循環を探ること、人工衛星を用いて広域の積雪域変動特性を観測していくための地上検証を行うことを重要な目標としている。

#### いままでの経過

1996年4月にはヤクーツクからオホーツク海沿岸のマガダンまで、1997年3月にはヤクーツクおよびハバロフスクにおいて、1998年3月には、ヤクーツクからミールヌイまでの、50km から 100km の積雪断面観測をおこない、積雪深、積雪水量、層位が広域にわたってほぼ一様であった。森林内でも林外の切り開きの雪原であろうともほぼ一様であった。この結果は衛星マイクロ波による積雪域の積雪域や積雪深を検知することの有用性を示し、リモートセンシング手法の応用において精度を高めることが期待できる。

積雪の化学的特性、同位体特性はシベリア高気圧圏における物質循環を探るうえで、多くの北極圏にかかわる環境問題を提起すると考えられる。

ヤクーツク凍土研究所の相手研究者からは、積雪調査における設営面での援助を受けた。とくに冬の極寒下での調査における車の運用や技術面での習得は北極圏や南極圏での研究・設営面での参考になることが多かった。

サハ共和国ヤクーツク市では、ヤクート・サイエンスセンターと称して、生物学研究所、地質学研究所、永久凍土研究所、宇宙物理学・航空力学研究所、北方圏問題物理工学研究所、非金属物質研究所、北方圏探鉱学研究所、北方圏少数民族問題研究所、ヤクート北方圏国際開発センター、科学工学機構他、ヤクーツク大学が中に入り、シベリアの研究開発の強化を進めている。おそらく、今後、日ソ平和条約が締結されて、日ソ関係が少しでも好転すれば、日本は大きな役割を持つものと思われる。

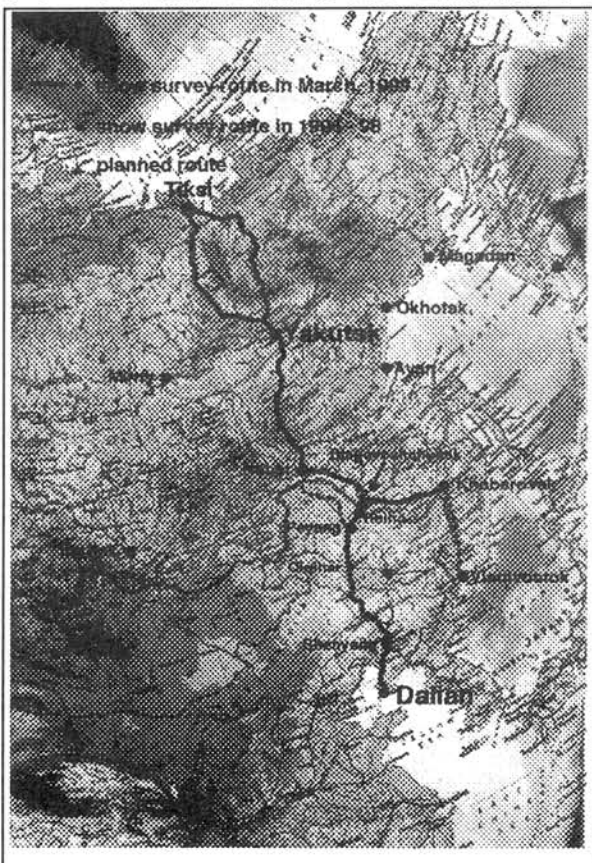


図1.ヤクーツクを中心とし東西・南北の広域積雪調査経路。

1998年3月はヤクーツクからミールヌイの積雪調査で、わずか10日ほどの短期間であれ、ヤクーツ人の対日感情は、中国、韓国などに比べて驚く程良いように感じた。おそらく中ソ対立の歴史的な影響だとは思いますが、サハ共和国の独立とシベリア開発に伴う国際関係が、将来、われわれの研究、観測活動に大きく影響するはずで、ヤクーツク市の学術研究機関との良好な関係を維持していくことが重要かと考えられる。サハ共和国の後背地といえる北極域の研究にも大きな影響を及ぼすであろう。以下に、過去4年間の予備的な広域積雪分布調査を含めて列記する。

- (1) 1996年4月 ヤクーツクからマガダンまで
- (2) 1997年3月 ヤクーツク永久凍土研究所にて数年間の調査計画の検討
- (3) 1998年3月 ヤクーツクからミールヌイまで
- (4) 1999年3月 ヤクーツクからペルホヤンスク

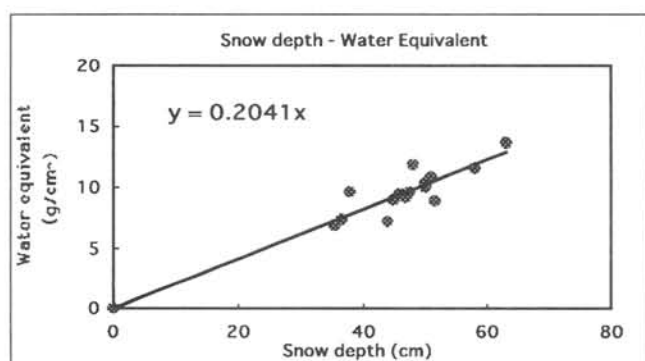


図2.積雪深と積雪水量との関係

広域積雪調査として、南北および東西の調査ルートを設定することを考えた。南北のトランセクト（南北縦断）の調査は、ヤクーツクから北極海までのルートをとることができる。具体的なルート等は図1に示した。

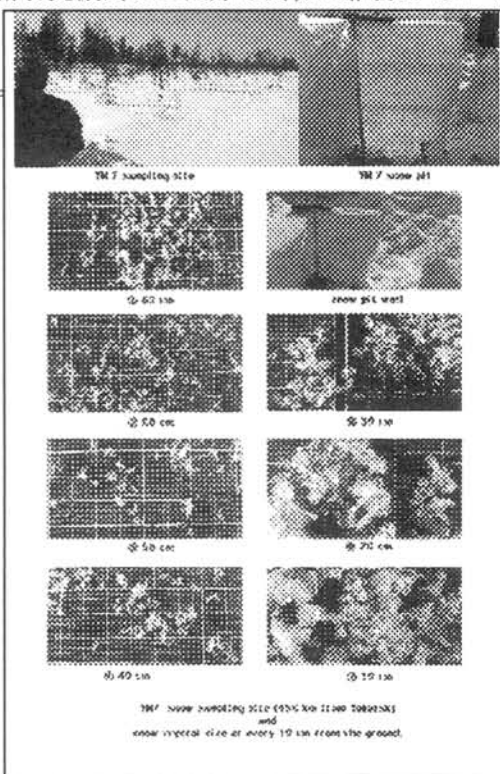


図3.積雪断面、粒径の深さによる分布。しもぎらめの発達が著しい。

#### ヤクーツク・ペルホヤンスク間（1999年3月）

当初の計画では、ヤクーツクからペルホヤンスクを経由してティクシ。再び、ペルホヤンスクを経由するか、またはティクシからレナ川に沿ってヤクーツクまでもどる計画であった。そのため大型トラックのキャビン付きの車両で、片道、約5〜7日間の日程。燃料を持っていくことにした。またホテルはなく、キャビンで寝ることになった。しかし限られた日数ではペルホヤンスクまでの往復が精一杯であった。1999年3月14日から29日まで、調査経路はヤクーツクからペルホヤンスクまで。調査は100km毎に次の項目を実施した。積雪深度、積雪水量、積雪断面観測（層構造、粒径、密度、雪温、雪質）、積雪試料（化学主成分、酸素同位体、硫黄同位体分析用）、写真撮影、ビデオ撮影（ビデオモザイク作成）。

#### 積雪断面と化学特性

積雪分布は積雪深と積雪水量がほぼ直線関係を有している（図2）。積雪深は30〜60cmであった。断面は図3に示すように表面は数mmのしまり雪、ほぼ全層がしもぎらめ雪で地面近傍は1cm以上のコップ状の結晶形をしている。図4に化学分析の結果の一部、ヤクーツクからミールヌイまでの  $\text{nss-SO}_4^{2-}$  の各地点の深さ分布(1,2,3)と約100kmごとの分布を示した。全体に清浄な積雪であるが、都市（例えばヤクーツク）の近傍では、各イオン種濃度が高くなっている。また、硝酸イオン濃度は高く積雪採取地点が幹線道路のそばの影響を受けている。

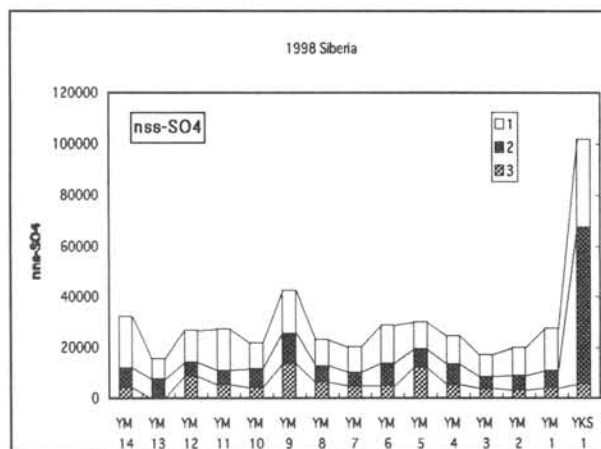


図4.ヤクーツクからミールヌイまでの  $\text{nss-SO}_4^{2-}$  の分布と深さ分布(1,2,3)

# 97/98 冬季グリーンランド、シオラパルクにおける降雪中の化学成分組成

的場澄人（低温研）、山崎哲秀、本山秀明（極地研）

Chemical composition of the snowfall at Sioraparuk, Greenland in 1997/98 winter

Sumito Matoba (ILTS), Testuhide Yamasaki, Hideaki Motoyama (NIPR)

Fresh snow samples were collected at Siorapaluk, Greenland in 1997/98 winter in order to investigate the seasonal variations of the chemical compositions in snowfall and meteorological condition at the coastal region of northern west Greenland. The flux of  $\text{CH}_3\text{SO}_3^-$  increased from March, which was provided from the spring bloom. Non-sea salt  $\text{SO}_4^{2-}$  and  $\text{Ca}^{2+}$  showed high flux and concentration at 14th-Apr., which were provided by the intrusion of low along the west Greenland with large quantity of rain and snow.

## 1. はじめに

北西グリーンランド沿岸地域の気象条件と物質循環の季節変動を調査することを目的として、1997/98 年冬季にグリーンランドチューレ地区シオラパルク村を拠点とした降雪・積雪観測とミーハン氷河での積雪観測を行った。

## 2. 試料と分析方法

1997 年 11 月から 1998 年 5 月まで、シオラパルク村において気象観測と降雪採取を行った。降雪は村からの人為汚染のないと思われる地点で、降雪開始から 6 時間以内に適宜採取した。

1998 年 5 月に、シオラパルク～ミーハン氷河～氷帽ルート上での積雪と北緯  $78^{\circ}10'$ 、西経  $69^{\circ}53'$  地点（A 点）、北緯  $77^{\circ}57'$ 、西経  $70^{\circ}01'$  地点（B 点）で積雪断面観測及び試料採取を行った。

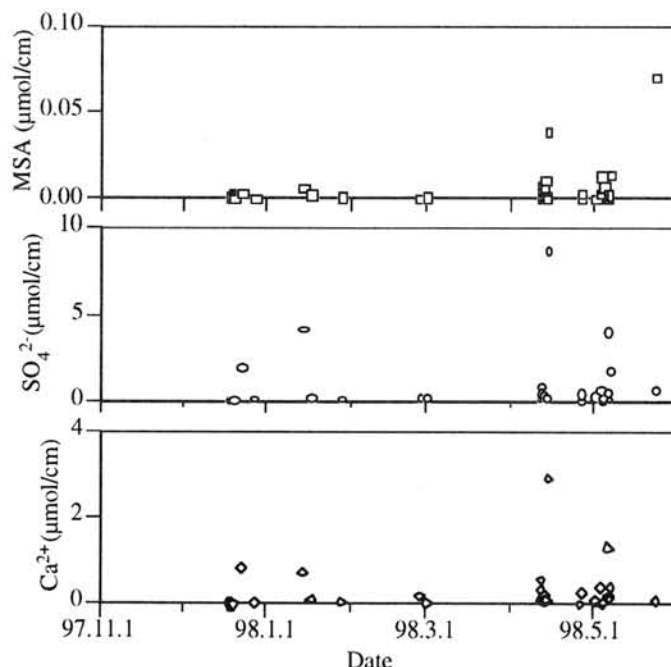
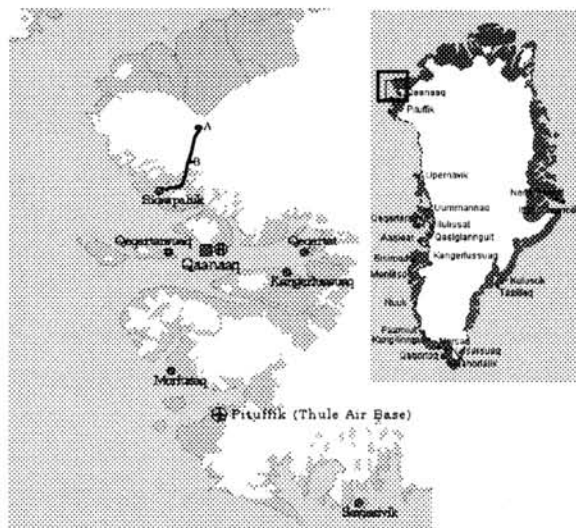
採取した試料は融解・処理をした後、国内に持ち帰り、国立極地研究所で pH、電気伝導度、安定酸素同位体比、主要イオン濃度、溶存金属イオン濃度を測定を行った。

## 3. 結果

シオラパルクでは観測期間を通して北東の風が卓越し、風向、風速の季節変動や、風向と降雪量との明瞭な相関は見られなかった。

降雪中の  $\text{Cl}^-$ 、 $\text{K}^+$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 、と  $\text{Na}^+$  との濃度比が、海水中の濃度比に近い値で一定の値を示したことから、これらの成分は海塩起源であることがわかった。

$\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{CH}_3\text{SO}_3^-$ 、非海塩性  $\text{SO}_4^{2-}$  の降下量の変動を図に示す。4 月以降生物活動の活発化によって供給されたと推測されるメタンスルホン酸イオンの増加が見られた。4 月 14 日には、グリーンランド西側を低気圧が進入し、多量の降雪と降雨が観測された。このときには降雪中の非海塩性  $\text{SO}_4^{2-}$  と  $\text{Ca}^{2+}$  は降下量、濃度とも高い値を示した。



# カナダ北極域デボン氷帽における多点ピットの化学成分分布

東久美子（極地研）・Roy M. Koerner・Jocelyne Bourgeois（カナダ地質調査所）

Christian Zdanowicz（ニューハンプシャー大学）・渡辺興亜（極地研）

## Spatial variation of snow chemistry on Devon Ice Cap in the Canadian Arctic

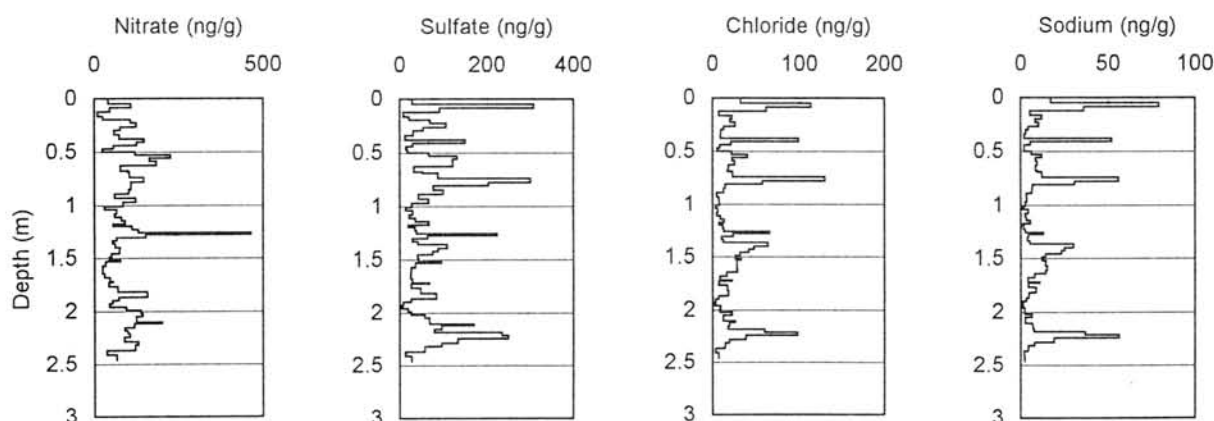
K. GOTO-AZUMA (NIPR), R. M. KOERNER, J. BURGEOIS (Geological Survey of Canada),

C. ZDANOWICZ (Univ. of New Hampshire), O. WATANABE (NIPR)

Eleven snow pits were dug on Devon Ice Cap in May 1998. Snow and firn samples were collected from the pits and analyzed for conductivity, pH, and ions. Concentration profiles of ions from the summit indicate that  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$  and  $\text{Na}^+$  peak in late winter/early spring. Results from other pits will be also shown at the symposium, and variations of ion concentrations with altitude will be discussed.

カナダ北極域バフィン氷帽における積雪中化学物質の空間分布および化学物質の輸送過程を研究するため、1998年5月10日から21日にかけて同氷帽の頂上と消耗域を含む11箇所にてピット観測を行い、積雪及びフィルンのサンプルを採取した。ポリ袋に採取したサンプルを、氷帽上で融解した後ポリ瓶に移し替えて再凍結させた。サンプルは日本に持ち帰り、分析直前に融解した後、電気伝導度、pH、イオン濃度を測定した。

下図はデボン氷帽の頂上付近で採取したピットにおける  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Na}^+$  の濃度プロファイルを示す。 $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Na}^+$  の濃度は季節変動と見られる周期的な変動を示しており、氷板の位置から夏の層が推定できるから、これらのイオン濃度がピークになるのは晩冬から春先であると考えられる。これは、カナダ北極域のより高緯度に位置するエルズミア島のアガシー氷帽と同様の結果である。 $\text{NO}_3^-$  については季節変動がぼやけているが、これはアガシー氷帽と同様に、晩冬から春先にかけてのピークと夏のピークが重ね合わさったためであると考えられる。シンポジウムでは、他のピットの分析結果についても示し、イオン濃度の標高分布について考察する予定である。





## GRIP コアの気泡数密度とクラスレート・ハイドレート

下原 喜美子<sup>1)</sup>, 吉井 英人<sup>1)</sup>, 的場 澄人<sup>2)</sup>, 奥山 純一<sup>2)</sup>,

成田 英器<sup>2)</sup>, 川田 邦夫<sup>3)</sup>, 百武欣二<sup>1)</sup>, 庄子 仁<sup>1)</sup>

1)北見工業大学, 2)北海道大学低温科学研究所, 3)富山大学

## Number density of air bubbles and clathrate hydrates in GRIP core

K. Shimohara<sup>1)</sup>, H. Yoshii<sup>1)</sup>, S. Matoba<sup>2)</sup>, J. Okuyama<sup>2)</sup>,

H. Narita<sup>2)</sup>, K. Kawada<sup>3)</sup>, K. Hyakutake<sup>1)</sup>, H. Shoji<sup>1)</sup>

1)Kitami Inst. Tech., 2)Hokkaido Univ., ILTS, 3)Toyama Univ.

Optical microscopic observations were made on a thin section sample from Greenland (GRIP) for a study of cloudy band characteristics. A strong correlation is found between micro-bubble and gray value, confirming that micro-bubble is a major source for the light scattering for cloudy band structures in Wisconsin ice.

はじめに: グリーンランド内陸中央ドーム頂上で採取された GRIP(Greenland Icecore Project)深層コアには、過去 10 数万年の地球環境変動情報が蓄えられている。その Wisconsin 氷期の氷には、クラウドイーバンドと呼ばれる白濁した縞模様が観察され、その縞の間隔が氷の年層の厚さに近いことから精密コア解析の対象として注目されている。氷が白濁して見えるのは、氷内部に含まれる空気含有物（気泡、六角小平板、劈開クラック、クラスレート・ハイドレート等）や結晶境界が光を散乱するためである。なかでも主要な散乱源はコア採取直後から大量に存在することが観察されているマイクロバブル（大きさが数ミクロン以下の微小気泡）である可能性が指摘されている。しかし、その数密度の測定は、サイズの小ささとあまりにも大量に存在することのため、これまで実測されてはいなかった。本研究ではクラウドイーバンドが観察される GRIP コア試料を用いて、空気含有物の数密度を測定し、それを試料の光学写真から得たグレーバリューと比較してクラウドイーバンドの特徴について調べた。

測定方法および結果: 用いた試料の深さは約 2207.5 m で、薄片試料 (6.6 x 3 cm) を厚さ 3.2 mm になるようにミクロトームで仕上げた。空気含有物の測定は、光学顕微鏡に CCD カメラを取り付け、モニター上に透過光画像を写し出してその数を測定した。試料のグレーバリューは、散乱光で撮影して得た写真をパソコンに取り込み、画像処理ソフトを用いて求めた。値は黒が 0、白が 255 となるように設定した。得られた結果を図 1、2、3 に示す。グレーバリューの変動は、クラウドイーバンド構造の数値表示として用いることができる(図 1)。マイクロバブルの数密度はおよそ 10 から 250 個/mm<sup>3</sup> の間で変動し、その変動はグレーバリューの変動と極めてよく対応している (図 2)。クラスレート・ハイドレートの数密度は、マイクロバブルより 1~3 桁小さく、その変動はグレーバリューにかなり対応しているが、相関の度合いは比較的低い (図 3)。また、気泡および六角小平板の数密度についても測定したが、やはりグレーバリューとの相関性は低い。これらのことから、クラウドイーバンドはマイクロバブルによる光散乱であるといえる。



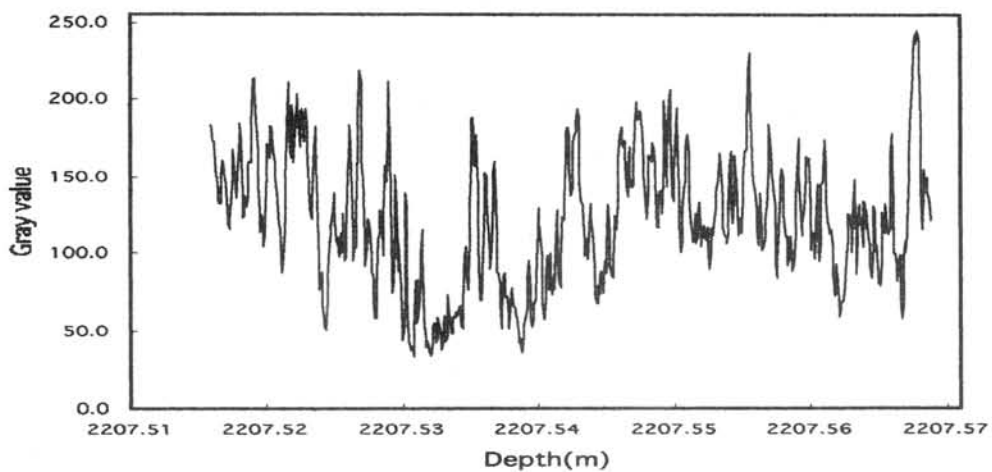


図1. グレーバリューの変動曲線

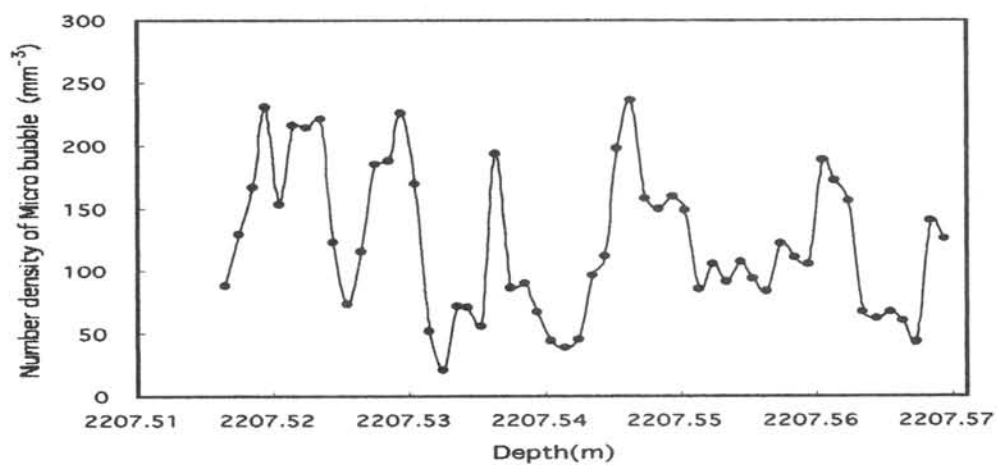


図2. マイクロバブルの数密度曲線

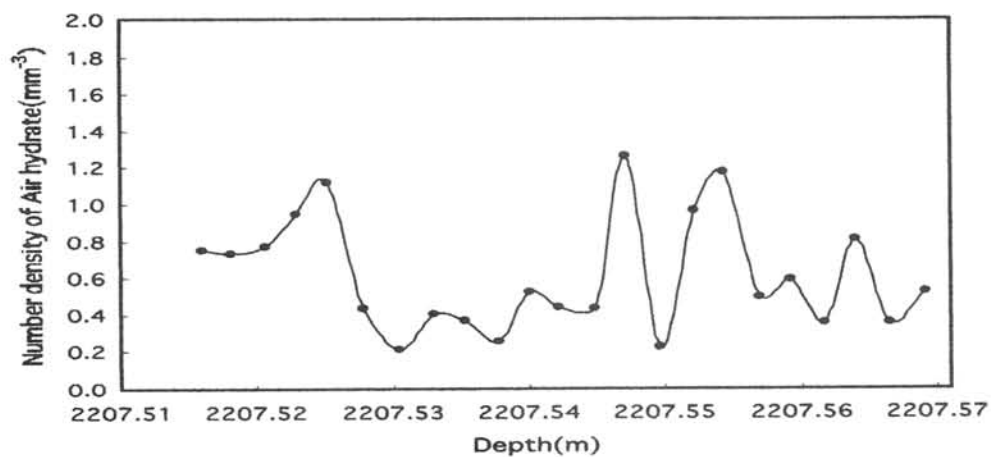


図3. クラスレート・ハイドレートの数密度曲線

## グリーンランド North GRIP-99 深層コア掘削解析研究

庄子 仁<sup>1)</sup>、成田英器<sup>2)</sup>、本山秀明<sup>3)</sup>、渡辺興亜<sup>3)</sup>

1)北見工大、2) 北大低温研、3) 極地研

North Greenland Ice Core Project (NGRIP) in 1999

H. Shoji(Kitami Inst. Tech.), H. Narita(Hokkaido Univ., ILTS),

H. Motoyama and O. Watanabe(Nat. Inst. Polar Res.)

Field activities of NGRIP during 1999 season are summarized and reported. Three scientists participated from Japan for deep-drilling, core logging and processing. A new deep coring was started at a depth of 100 m this year and continued down to a depth of 1751.47 m. Ice core samples will be transported from Copenhagen to Japan for physical and chemical studies within this year.

1. はじめに：グリーンランド中央ドーム頂上における深層コア（GRIP コア）解析の結果、イーミアン間氷期における激しい短周期の気候変動の存在が示された。これは、完新世の安定した気候とは対照的であり、振動気候の駆動力が議論されている。その一方で、イーミアン間氷期の氷の深さは氷床底部に近く、複雑な基盤地形の影響で氷の流動が乱れておりコアデータの信頼性は低いとの指摘がなされた。そこで、基盤が平坦で、氷の流動が単純なグリーンランド北部の分水界上（North GRIP）においてコア掘削（デンマーク主体の国際共同研究；日本代表は渡辺）が開始された。
2. 深層コア掘削：1996 年から開始された深層コア掘削は、1997 年には深さ 1371.7 m に到達した。この深さで深層ドリルは掘削孔中でスタックし、その後2ヶ年におよぶ努力の甲斐なく未だ回収されていない。1998 年夏に、深層掘削孔から約 25 m 離れた地点で第2の深層掘削を行うことを決め、深さ 100 m のパイロットホールが掘られた。今シーズンは、本山が掘削担当（6月28日～8月11日）として参加し、深さ 1751.47 m まで連続コアが採取された。
3. コアの現場処理・解析：成田（5月17日～7月1日）と庄子（6月28日～8月11日）がコア処理・解析担当として参加した。深さ 230 m までは、通常の処理（DEP および ECM 測定、各種サンプルカット、梱包等）を行い、その後は第1の深層コアとの比較のために DEP 測定だけを行って梱包した。Brittle Zone( 800~1300 m) については、コア採取から処理までの時間を延ばすことにより対処した。深さ 1300 m 以深については DEP 測定を行い、来シーズンのコア処理および測定が容易な状態で現場保管した。深さ約 1491 m で、最終氷期の氷が検出された。日本側国内解析用試料として表面積雪、ピット、深層コアサンプルが梱包された。コペンハーゲン大学で準備される追加サンプルとともに、年内に冷凍輸送される予定である。

## レーザートモグラフを用いた NGRIP 浅層 S1 コアの堆積構造解析

高田守昌<sup>1)</sup>、藤井理行<sup>2)</sup>、庄子仁<sup>3)</sup>、東信彦<sup>4)</sup>、渡邊興亜<sup>2)</sup>

1)総研大、2)極地研、3)北見工大、4)長岡技科大

### The stratigraphy analysis of NGRIP S1 core using laser tomograph

M. Takata(Grad. Univ. Advanced Studies), Y. Fujii(NIPR), H. Shoji(KIT),  
N. Azuma(NUT) and O. Watanabe(NIPR)

We have carried out stratigraphic analysis of NGRIP shallow cores, Greenland, using laser tomograph system, which we developed. We could detect the conspicuous structures such as melt features, hoar and fine grain layers as detailed two dimensional distribution of air bubbles. Spectrum analysis of scattered laser intensity variation shows the periodicity of 171 mm in water equivalent which corresponds to annual net accumulation ratio at NGRIP site. These suggest that the laser tomography is a useful method to detect detailed stratigraphic structures of polar ice cores.

**1. はじめに** 極域の氷河・氷床内陸部では、降り積もった雪は気象条件を反映した変質を受け、堆積構造をもつことになる。表面の堆積層は、後からの降雪の荷重により圧密氷化するが、氷化後もこの堆積構造は水中に含まれる気泡の不均一性として保存されている。従って、氷化後の雪氷コアの気泡形状・数・分布を測定することにより、微細堆積構造が明らかになり、過去の気候推定の手がかりが得られることになる。我々は、簡便に微細堆積構造解析が可能なレーザートモグラフの開発を行い(詳細は別途発表)、この装置を用いてグリーンランド NGRIP 地点(75.12°N, 42.30°W)で採取された雪氷コアの微細堆積構造解析を行った。

**2. 解析および結果** 解析したコアは、完全に氷化する前の 54m 深から氷化した 98m 深の範囲である。まず、レーザートモグラフにより測定された気泡率から換算した平均密度と重量法で求めたバルク密度を比較すると、密度が  $800 \text{ kg m}^{-3}$  を超え氷化した範囲では良好な関係であった。しかし、氷化前の深度範囲では、レーザートモグラフによる測定結果はバルク密度よりも軽い傾向を示していたが、この原因は散乱が気泡ではなく雪粒子表面で起っているためと考えられる。次に目視観測によるコアの組織とレーザートモグラフのから得られた気泡率プロファイルと比較した。目視観測で確認したしもぎらめ層の氷化した層では、レーザートモグラフの測定では、顕著に気泡率が高くなり、気泡形状は鉛直方向に細長いことを確認した。また、しまり雪層の氷化した層では、気泡率には明瞭な差はなかったが、気泡数の増加が顕著であった。さらに、厚さ 0.5mm 程度の氷板が存在した場合、気

泡率は 0 となるためにこの存在を確認することが可能であった。また、氷板の検出は、画像処理方法を変えることで明瞭に検出可能であった。そして、目視観察およびレーザートモグラフの結果を比べると、レーザートモグラフによる気泡率のプロファイルは目視観察では検出できない微細な堆積構造を示した。次に、測定した深さ範囲においてレーザートモグラフで得た気泡率の周期性の解析を行ったところ、水当量で 171mm のところに最大のピークが表れた(下図)。これは NGRIP 地点の年間涵養水当量に相当し、日射がある夏季のしもぎらめ層の形成による気泡率の上昇と、日射がない冬季の堆積後の変態を受けない気泡率の低い層が季節周期的に存在していることを示唆し、レーザートモグラフによる解析で堆積構造の季節変化を検出することができることを示している。

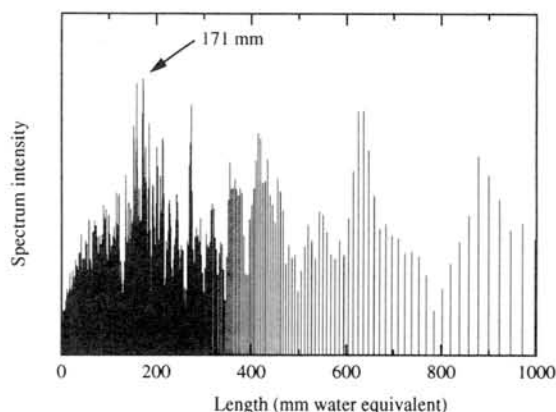


図 NGRIPS1 コアの気泡率変化の周期性

## 浅層掘削による氷床コアおよびフィルン・エア採取(JARE-39)

鈴木啓助(信州大)・山田知充(北大)・橋田 元・渡辺興亜(極地研)

Ice coring and sampling of firn air in East Antarctica (JARE-39)

Suzuki, K. (Shinshu University), Yamada, T. (Hokkaido University),

Hashida, G. and Watanabe, O. (National Institute of Polar Research)

In 1998, the 39th wintering party of the Japanese Antarctic Research Expedition (JARE-39) conducted shallow ice core drilling at H72 (69°12'17"S, 41°05'26"E) and at Dome Fuji Station (77°19'01"S, 39°42'12"E). And samples of firn air were collected at both site.

1. はじめに 氷床コアの化学的解析により過去の大気環境が復元できることは良く知られている。しかし、現在の降雪の分析から得られる値と氷床コアから得られる値との間には、絶対値でみるとズレの生じることがある。例えば、現在の降雪の酸素同位体組成は、氷床コアでは氷期の最寒期に相当してしまう。このズレから、雪が堆積によって次第に氷化していく過程で、固相と気相との相互作用によって化学的にも変質していることが推定できる。そこで、まさに雪から氷に変わっていくフィルン層で、固相と気相の両者を採取・分析すれば、このズレを生じさせるメカニズムを解明することができる。この仮説検証を目的のひとつとして、第39次南極地域観測隊気水圏部門では、南極氷床の2カ所において浅層掘削を実施し、氷床コアとフィルン・エアを採取した。

2. 掘削地点 39次隊での浅層掘削は、ドームふじ基地とH72地点で行った。ドームふじ基地は36、37次隊で2500mに達する深層掘削が成功した地点で、深層コアの解釈にも有効な情報を提供することができる。一方、昭和基地からみずほ基地へ向かうルート上のH72地点は、昭和基地の南東約70kmに位置し、毎年確実に積雪(年間平均83cmの涵養量)が観測されている地点である。

3. 作業経過 H72地点における浅層掘削は、1998年9月3日昭和基地発、同月24日昭和基地着の旅行日程で実施した。旅行期間を通じてブリザードに悩まされ、掘削用テントの維持に多大の時間を要した。しかしながら、掘削に費やすことのできた9日間(実働38時間)で73.4mまで掘削することができた。表層から最深部までの氷床コアを連続的に採取するとともに、深度約10mから約65mまで5m間隔でフィルン・エアも採取した。65.1mまでは掘削孔底で通気性が認められたが、69.8mでは通気性が全く認められず、両者の深度間で氷層に達したことが確認された。

39次隊としては2度目のドームふじ基地往復旅行は、1998年11月7日昭和基地発、1999年1月17日昭和基地着の日程で行われたが、浅層掘削は、12月12日～24日の間の延べ8日間(実働44時間)で107.9mまで達成することができた。最深部までの氷床コアとともに103.7mまでのフィルン・エアも採取することができた。103.7mまでは掘削孔底で通気性が認められたが、107.9mでは通気性が全く認められず、両者の深度間で氷層に達したことが確認された。

以上のように、ドームふじ基地とH72地点の両地点で、わが国最初のフィルン層から氷層までのフィルン・エア採取を成し遂げることができた。

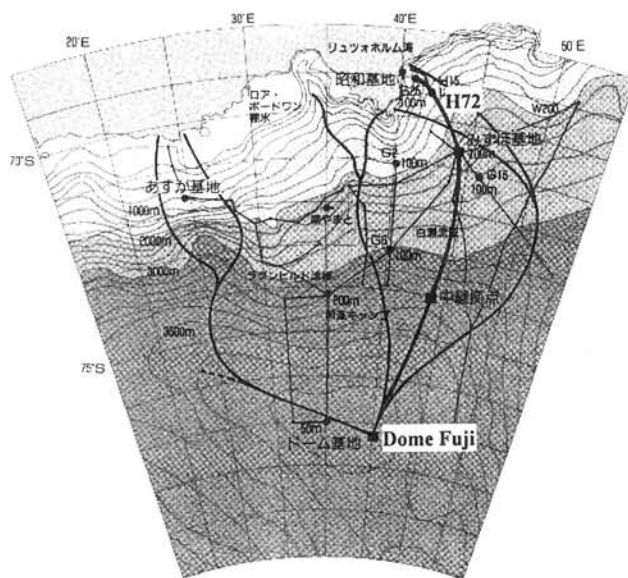


図1. 掘削地点

南極昭和基地における降雪の化学特性(JARE-39)

鈴木啓助(信州大学理学部)・五十嵐誠・渡辺興亜(国立極地研究所)

Chemical property of snow at Showa Station, East Antarctica

Suzuki, K. (Shinshu University), Igarashi, M. and

Watanabe, O. (National Institute of Polar Research)

Snow samples were collected at Showa Station, East Antarctica, from March to October in 1998 using a bulk sampler. Snow samples that have higher value of electric conductivity show higher value of pH.

1. はじめに 海岸地域では、降雪に含まれる化学物質の多くが海塩を起源とし、その濃度は降雪をもたらす雲の対流活動などの気象条件に規定されることが知られている。わが国の南極地域越冬観測が行われている昭和基地は、東南極リュツオ・ホルム湾東オングル島に位置しており、そこでの降雪の化学特性は海洋の影響を受けていると考えられる。第39次越冬隊では、昭和基地において1998年3月から10月まで降雪を採取・分析したので、その結果を報告する。

2. 研究方法 降雪の採取装置は、開口面積1855cm<sup>2</sup>のプラスチック容器(内寸53×35×29cm)を利用し、環境科学棟から約50m北東側の海岸寄りの標高約10mの地点に地上約1mの高さで設置した。昭和基地における主風向は北東であり、採取装置の北東側は海水であるから、主風向時には基地の影響を受けない降雪試料を採取することができた。本採取装置はバルク型のサンプラーであり、降雪以外にも強風時には飛雪、さらには乾性降下物も同時に採取したことになる。基本的な採取間隔は1日とし、毎朝9時に超純水にて洗浄したサンプラーを架台に設置し翌日の9時まで放置した。翌日には、このサンプラーと別の清浄なサンプラーを交換し、1日間放置したサンプラーは密封した後、内部の雪を室温で融解した。融解後直ちに採取試料の重量から降水量を算出し、電導度

およびpHを測定した。その後試料はサンプル瓶で冷凍保存した。また、試料の一部は、昭和基地においてイオンクロマトグラフにより化学主成分濃度を分析した。

3. 結果 9月3～24日の間は、調査旅行のために1日間隔での採取ができなかったが、この期間以外はほぼ1日間隔で降雪を採取した。降水量と降雪の電導度、pHの変動を図1に示す。降水量に顕著な季節変動は認められないが、電導度、pHは7月初旬まで高い傾向にあり、8、9月に小さな値を示す。1998年は5月初めまでオングル海峡が開水面になったのをはじめ、リュツオ・ホルム湾も広く開水面となった。この海水状況が降雪の電導度およびpHの変動に影響していることが考えられる。また、降雪の電導度が増加するとpHの値も大きくなることがわかる。電導度が小さな場合には、pHが比較的低い値を示す降雪も観測される。

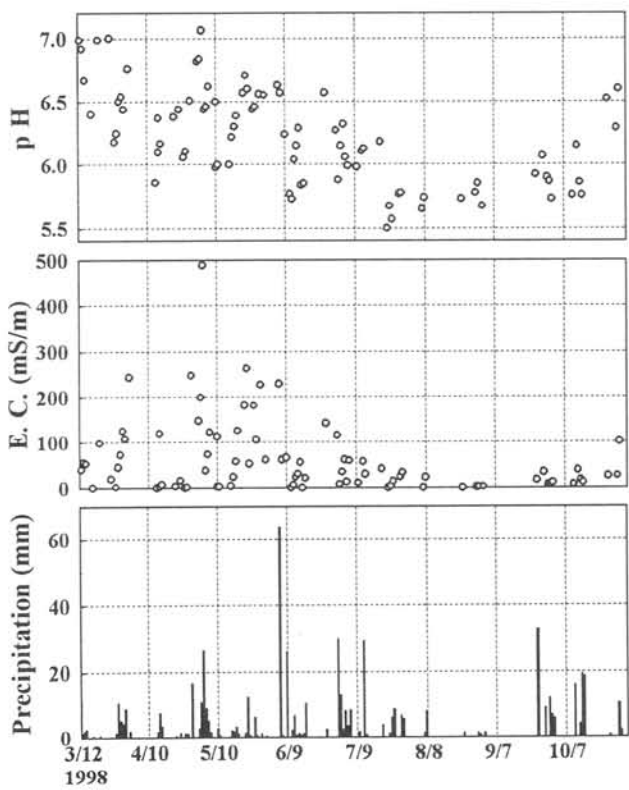


図1. 降水量、電導度およびpHの変動



## 南極 S25 コア中の酸性度と化学成分

渡辺幸一（名大大気水圏研）・佐藤和秀（長岡高専）

神山孝吉・本山秀明・渡辺興亜（極地研）

### Acidity and chemical compositions in the S25 core

K.Watanabe (IHAS, Nagoya Univ), K.Satow (Nagaoka College of Technology)

K.Kamiyama, H.Motoyama, O.Watanabe (NIPR)

Acidity (pH) and major ions concentrations in the S25 core, near the coastal region, East Antarctica, have been measured. The acidity poorly correlated with  $\text{nssSO}_4^{2-}$  concentration, however, had a significant correlation with  $\text{NO}_3^-$  concentration. It seems to be difficult to detect past volcanic signals by the acidity (pH) measurement in an ice core from the Antarctic coastal region.

#### はじめに

これまでのコア解析の結果から、高い酸性度を示す層準では高濃度の非海塩起源硫酸イオン ( $\text{nssSO}_4^{2-}$ ) が検出されることがあり、しばしば大規模な火山噴火のシグナルとして取り扱われている。この傾向は、特に南極内陸部のコアでよくみられる。しかしながら、南極沿岸域では（海洋生物起源の） $\text{nssSO}_4^{2-}$  のバックグラウンド濃度が高く、火山噴火起源の  $\text{nssSO}_4^{2-}$  を識別することが困難であると考えられる（Watanabe et al., 1999）。また、沿岸域では、積雪涵養量が大きいため積雪中の硝酸イオン ( $\text{NO}_3^-$ ) の昇華・変質も小さく保存されやすい。本研究では、南極沿岸域の S25 地点で掘削された雪氷コア（S25 コア）中の酸性度（pH）と主要イオン濃度との比較を行った。

#### 結果と考察

南極雪氷コア中の pH の正確な測定は困難であるが、分離型電極法（藤井ほか、1989）によって測定を行った。なお  $\text{CO}_2$  の溶解の影響は避けられなかったため、測定値はあくまで相対値である。S25 コア中の水溶成分のイオンバランスが陽イオン過剰となった（佐藤ほか、1992）が、これは  $\text{H}^+$ （pH 値から計算）の過大評価によるものと考えられる。

図 1、2 にそれぞれ S25 コア中の pH 値から計算した酸性度と  $\text{nssSO}_4^{2-}$  および  $\text{NO}_3^-$  濃度との関係を示す。S25 コアでは酸性度が  $\text{nssSO}_4^{2-}$  濃度より  $\text{NO}_3^-$  濃度の方に優位な相関関係がみられた。演者らはすでに ECM プロファイルについても同様の結果を報告している（渡辺ほか、1997）が、これらの結果から、南極沿岸域のコアでは、pH や ECM シグナルに  $\text{NO}_3^-$  が大きく寄与していることが示唆され、酸性度プロファイルから火山シグナルを検出することが困難であると考えられる。

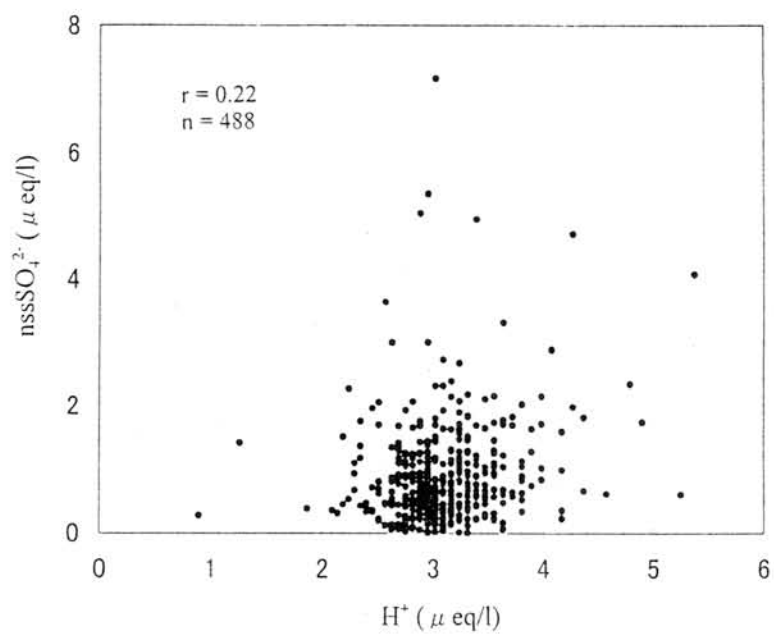


図 1. 南極 S25 コア中の酸性度と非海塩起源硫酸イオン濃度との関係

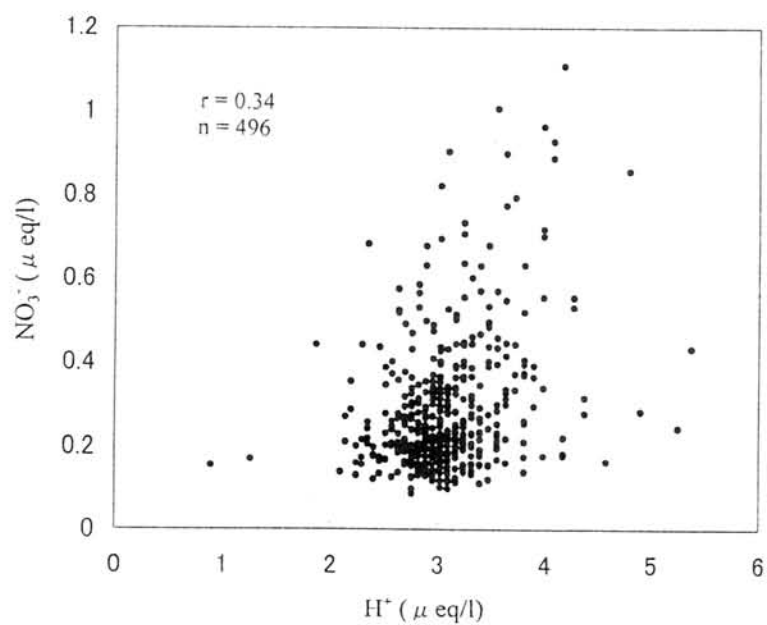


図 2. 南極 S25 コア中の酸性度と硝酸イオン濃度との関係

## 南極雪氷試料中の全有機態炭素の分布に関する研究

吉沢雪子、河村公隆（北大低温研）、  
東信彦（長岡技大）、藤井理行、本山秀明、渡辺興亜（極地研）

### Total Organic Carbon Contents in Antarctic Snow and Ice Samples

Y. Yoshizawa, K. Kawamura (Inst. of Low Temp. Sci., Hokkaido Univ.),  
N. Azuma (Nagaoka Univ. of Tech.), Y. Fujii, H. Motoyama, O. Watanabe (NIPR)

Fresh snow and ice core samples from Antarctica were measured for total organic carbon (TOC) contents using a Shimadzu TOC-5000 carbon analyzer. Snow samples were collected during inland area travel between Syowa Station and Dome Fuji in 1995 to 1997. TOC contents in melt snow samples ranged from 0.54 to 1.92 ppmC (mean 0.86ppmC), excluding the sample collected near the Dome Fuji. This concentration range was within the range of the TOC concentration (0.29-4.9ppmC) reported in the H15 ice core. The spatial distribution will be discussed from a view point of atmospheric transport and deposition.

#### [はじめに]

これまで報告された南極沿岸域(H15)で採取された浅層コアの有機物解析の結果などより、有機物の解析をとおして、気候変化や生物活動に関する新たな知見が得られると期待される。雪氷試料中に基礎的な有機物情報である全有機態炭素(TOC)の測定は、他の有機成分の分析に比べ、測定に必要な試料の量が比較的少量でよく、また比較的短時間での測定が可能であり、氷床コアなどの限られた量で、高い時間分解能の有機物情報を得ることが可能であると考えられる。そこで、本研究では、南極沿岸からドームふじで採取された降雪試料を用いて、全有機態炭素の測定法について検討し、ドームふじで掘削されたアイスコア試料の分析することを目的とした。

#### [試料及び測定方法]

試料は、1995-1997年(JARE37-38)に、南極S17(69.01'32"S, 40.04'58"E, 標高608m)からドームふじ(77.19'01"S, 40.03'09"E, 標高 3810m)間の内陸旅行中に採取された降雪試料(15samples)および、ドームふじで掘削された浅層コア(112.59m)を用いた。試料の測定は、融解した試料を塩酸酸性にし、高純度空気中でバブリングすることにより、溶存している無機炭素を除去した後、25-250 $\mu$ lを燃焼管に注入し、680 $^{\circ}$ C高温触媒酸化法により、有機物を二酸化炭素に酸化し、非分散型赤外線ガス分析計(NDIR)で測定した。

#### [結果及び考察]

南極内陸旅行中に採取された降雪試料の TOC の分布は、みずほ基地周辺(沿岸から 250m 付近)およびドームふじ周辺でやや高い値を示したものの、全体として 1ppmC 程度の比較的低濃度であった。ドームふじ基地に近い雪試料を除外すると 0.54-1.92ppmC の範囲(平均 0.86ppmC)の TOC 濃度が検出された。これは、沿岸域で掘削された浅層コア(H15, 118m)中に検出された TOC 濃度(0.29-4.9ppmC)の範囲内であった。発表では、南極降雪試料中の分布の特徴および、ドームふじコアの TOC 濃度の分布の特徴や、大気を通した物質輸送について議論する予定である。

## 東南極ハムナ氷河底面氷の化学的性質

飯塚芳徳(総研大)、五十嵐誠(極地研)、佐竹洋(富山大学)、白岩孝行、成瀬廉二、山田知充(北大低温研)、  
渡辺興亜(極地研)

### Chemical properties of the basal ice at Hamna glacier, East Antarctica

Y. Iizuka (Grad. Univ. Advanced Study), M. Igarashi (NIPR), H. Satake (Toyama Univ.),  
T. Shiraiwa, R. Naruse, T. Yamada (ILTS), O. Watanabe (NIPR)

A debris-laden basal ice is exposed along an ice cliff of the Hamna glacier, Sôya Coast in the Queen Maud Land, East Antarctica. The Hamna basal ice is about 6.8 m in thickness. The upper 5.5 m is composed of alternating layers of bubble-free and bubbly ice, both from several mm to several cm thick. The lower 1.3 m contacts with crystalline bedrock and consists predominantly of bubble-free massive ice containing stratified debris.

Average oxygen isotope values of the Hamna basal ice, the upper bubbly ice sheet ice of the ice cliff and the iceberg ice near Hamna glacier show about -45.6‰, -45.5‰ and -29.7‰, respectively. It was found that the Hamna basal ice and the ice sheet ice had the same precipitation origin and were originated from precipitation at the upper reach region in Sôya Drainage, because seasonal  $\delta^{18}\text{O}$  values of precipitation in the marginal region of Sôya drainage range from -33 ‰ to -11 ‰ at present (Kato, 1979).

Major dissolved ions of the Hamna basal ice are mainly composed of  $\text{Ca}^{2+}$  and  $\text{HCO}_3^-$  species, and those of the ice sheet ice and the iceberg ice are dominated by  $\text{Na}^+$  and  $\text{Cl}^-$  species. Cations (particularly  $\text{Ca}^{2+}$ ) and pH of the Hamna basal ice are correlated with debris concentration. It shows that cations observed in the Hamna basal ice were eluted from weathered rock. Ionic balances at peaks of major dissolved ions are different between the upper and the lower parts of the basal ice. In the lower part, cations relate to debris layers and are mainly composed of  $\text{Ca}^{2+}$  species. In the upper part, there are peaks of  $\text{Mg}^{2+}$  and  $\text{SO}_4^{2-}$  independent with debris concentration.

### ハムナ氷河底面氷の化学的性質

底面氷とは氷河・氷床の底面部に存在し、基盤起源の岩石粉碎物を保持している氷である。本研究の目的は、宗谷流域末端に位置する東南極ハムナ氷河底面氷の化学的な特徴を把握することである。

ハムナ氷河底面氷、底面氷が露出している氷崖の上部に位置する岩石粉碎物が含まれていない氷(以下氷床氷と呼ぶ)、ハムナ氷河下流の氷山氷それぞれの層構造を低温室内で解析した。ハムナ氷河底面氷は6.8m厚であり、基盤に水平に透明氷層、気泡氷層、固体粒子含有層などの層構造を持つ。また、層構造の違いから、基盤から1.3mを境に上部と下部に大別できる。

層構造解析後、ハムナ氷河底面氷、氷床氷、氷山氷を任意の厚さに切り出し、融解させ、その安定同位体比(酸素、水素)、溶存イオン濃度を測定した。平均的な酸素安定同位体値は底面氷、氷床氷、氷山氷でそれぞれ-45.6‰, -45.5‰, -29.7‰であった。このことは、底面氷、氷床氷は同じ降雪起源を持つこと、同じハムナ氷河を源流に持つこれらの氷と氷山氷は異なる降雪起源を持つことを示す。また、昭和基地における酸素安定同位体値は-33~-11‰の間で季節変化しているため(Kato, 1979)、底面氷、氷床氷は氷床内陸の降雪起源を持つことを示す。

図1に底面氷、氷床氷、氷山氷の陽イオン収支、陰イオン収支を示す。 $\text{HCO}_3^-$ 濃度は測定された陽イオン濃度( $\text{Na}^+ + \text{K}^+ + \text{Mg}^{2+} + \text{Ca}^{2+}$ )から測定された陰イオン濃度( $\text{Cl}^- + \text{NO}_3^- + \text{SO}_4^{2-}$ )を差し引いた濃度を用いている。氷床氷、氷山氷のイオン収支は $\text{Na}^+$ 、 $\text{Cl}^-$ に富み、おもに海塩を起源とする典型的な氷床中流・下流域の降雪に見られるイオン収支と同様の組成を持つ。底面氷は $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{HCO}_3^-$ に富んでおり、氷河による基盤侵食の際にイオン

収支が変化したことが示され、岩石粉碎物に多量に含まれ低温下で溶出しやすいCaが底面氷陽イオン種の第一位となったと考えられる。

ハムナ底面氷は上部と下部で検出されるイオンピークの陽イオン収支が異なる(図2)。底面氷下部では、底面氷中の陽イオン濃度は固体粒子含有層(図2のドットで囲まれた部分)と相関があり、主にCa<sup>2+</sup>で構成される。底面氷上部では、深さ約4.0m付近に岩石粉碎物濃度と相関のないMg<sup>2+</sup>のピークが見られ、陽イオン中のMg<sup>2+</sup>の存在割合が他の箇所より大きい。このMg<sup>2+</sup>ピークが見られる深さ約4.0m付近では同様にSO<sub>4</sub><sup>2-</sup>のピークが検出され、かつ当量的にMg<sup>2+</sup>とSO<sub>4</sub><sup>2-</sup>の濃度がほぼ一致することから、底面氷上部における陽イオンのピークはMgSO<sub>4</sub>を起源とする不純物であることが予想される。

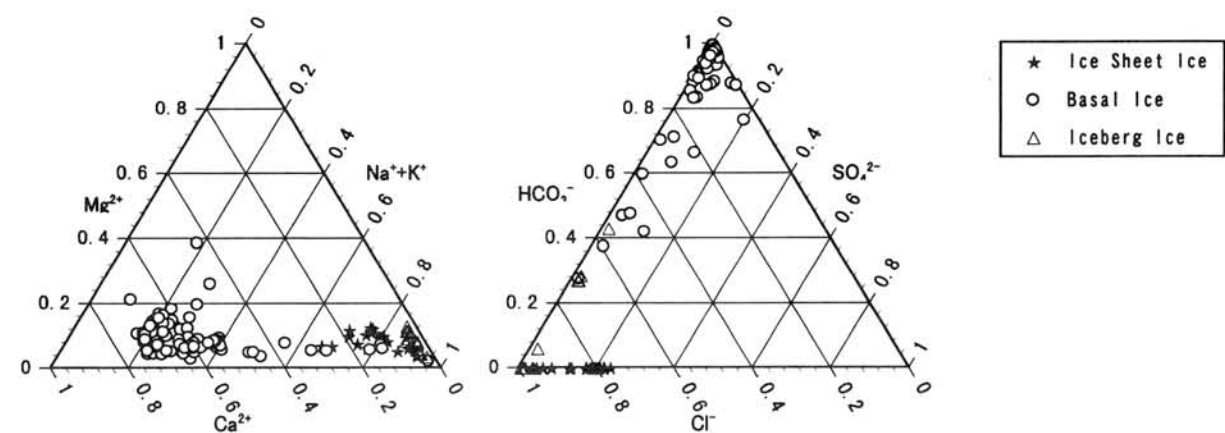


図1. ハムナ氷河地域の氷の陽イオン、陰イオンバランス

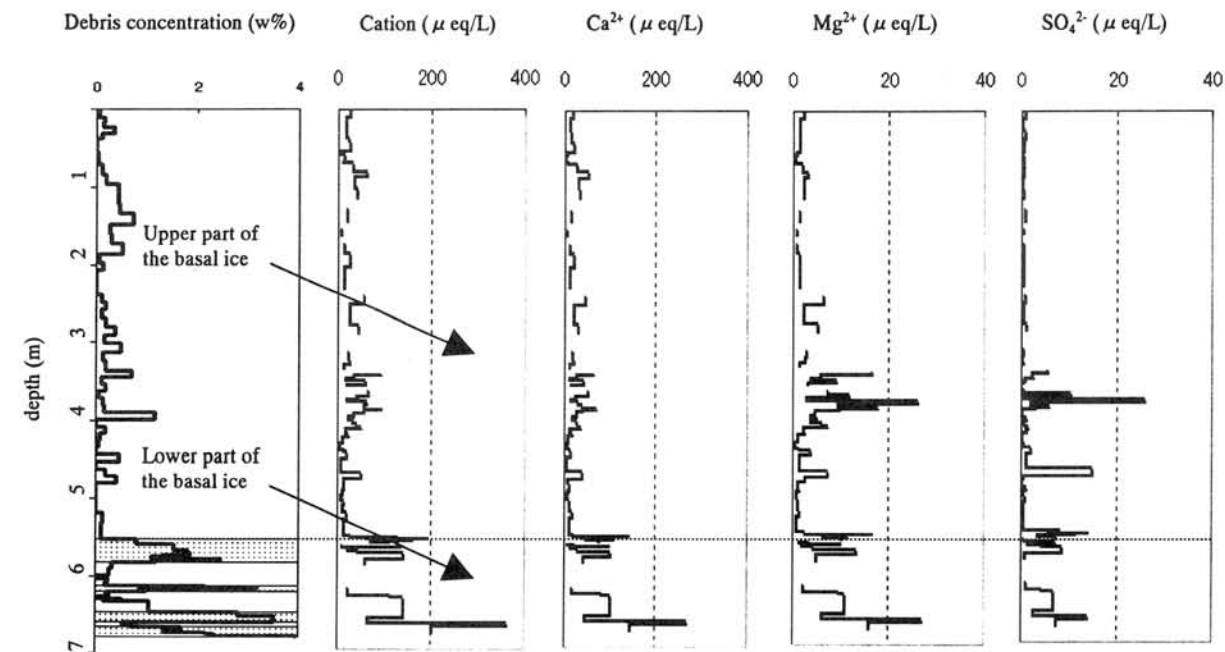


図2. ハムナ底面氷のデブリ濃度、陽イオン濃度、Ca<sup>2+</sup>濃度、Mg<sup>2+</sup>濃度、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>濃度

参考文献

Kato, K (1979). Oxygen isotopic composition of fallen snow Antarctica. *Nankyoku Shiryo*, 67, 124-135.



# JARE 観測の East Queen Maud Land の基盤地形を用いた 南極氷床の数値実験

齋藤冬樹、阿部彩子 (東京大学気候システム研究センター)

## 3D numerical experiments with revised bedrock topography of East Queen Maud Land observed by JAREs

SAITO Fuyuki, Ayako Abe-Ouchi(CCSR)

Numerical experiments are performed for Antarctica ice sheet with revised bedrock topography around East Queen Maud Land observed by JAREs. Steady experiments as well as transient experiments forced by Vostok-core temperature are simulated with both 'old' and 'revised' topography. Comparison around East Queen Maud Land shows bedrock change are sensitive to vertical profiles of temperature and age and also to surface elevation.

はじめに 氷床の形状にとって基盤地形は重要な境界条件の一つである。今までの多くの南極氷床の三次元モデルによる数値計算では Drewry(1983) の基盤地形を用いていたが、East Queen Maud Land 域における JARE の観測の基盤地形 (Nishio et al. 1995) は含まれていない。

本研究では East Queen Maud Land 域の基盤地形を更新して数値実験をおこない、基盤地形の効果を考察する。

用いた基盤地形 基盤地形の分布を更新した領域は図の太い実線で囲まれた領域 ( $15^{\circ}\text{E}$ - $55^{\circ}\text{E}$ ,  $68^{\circ}\text{S}$ - $80^{\circ}\text{S}$ ) である。その他の部分は Drewry(1983) を Budd and Jenssen(1989) が格子土に変換したものをを用いた。

数値 model 用いた数値モデルは氷床三次元熱力学力学モデルで以下の特徴をもつ。

- Shallow Ice 近似をもとにした三次元流動モデル
- 解像度は水平 40km, 鉛直には 26 層
- 予報変数は氷床の流速、温度、年代、の三次元分布および氷厚の二次元分布
- 境界条件は基板地形、氷床の表面質量収支、表面温度および地殻熱流量
- 温度に依存した構成方程式
- 氷の温度が融点に達したら融点に固定する (質量収支には影響しない)

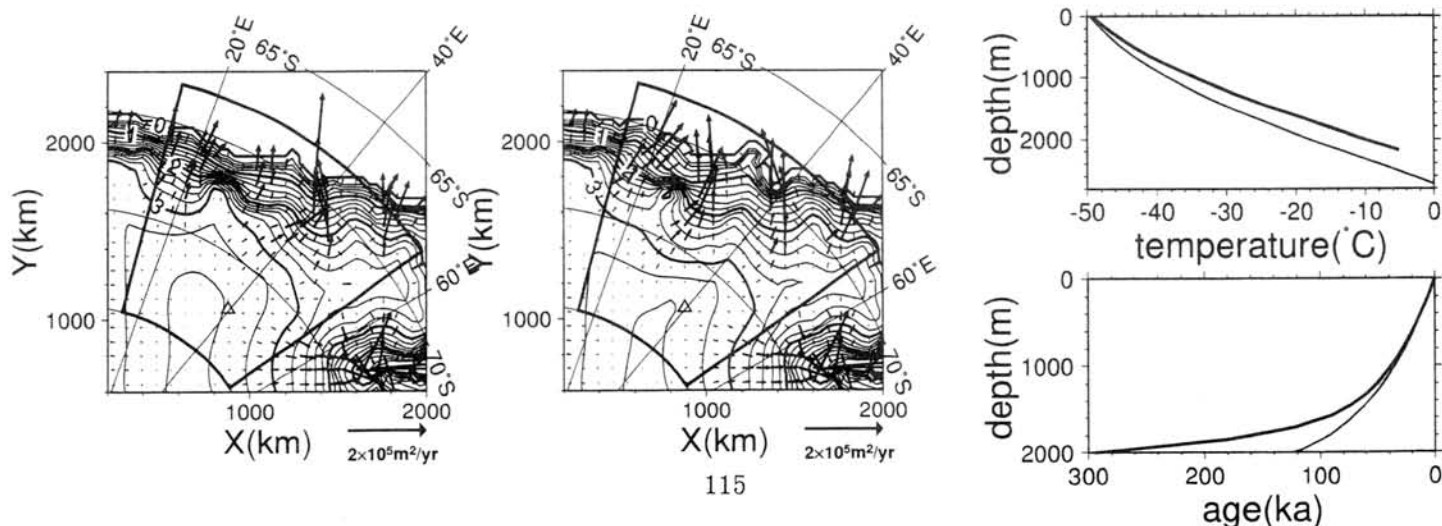
- 棚氷は考慮しない

実験および結果 一定の気候条件下での定常実験および Vostok core から得られた温度時系列を元にした非定常実験を行った。結果の一例を図に示す。下図左の二つは現在の境界条件を用いた定常解の表面高度 (km) とフラックスである (East Queen Maud Land のみ)。左が今までの基盤地形、右が今回更新した地形を用いたものである。いずれの場合も観測値と比較すると East Queen Maud Land 領域では全体に数 100 m 程度低く、モデル上での Dome F の位置も正しくは再現されていない。他の地域では逆に数 100m 程度観測より高い結果となっている。この原因については今後考察する予定である。

定常実験同士を比べると、基盤地形が更新され (谷地形が追加され) たことにより、特に Sør Rondane の東側で流速が強まっている。その影響で Sør Rondane の表面高度が 100m 以上低い。

Dome F 地点の温度および年代の鉛直分布の計算結果を下図右に示した (太線が新しい地形のもの)。基盤地形の違いにより深いところで大きな差となっている。

行った各実験の比較考察など結果の詳細はポスターで報告する。



## スダンブラック B を染料とした積雪の片薄片製作技術

八久保 晶弘 (北見工大)・荒川 逸人 (野外科科学)・西田 顕郎 (筑波大)  
・福沢 卓也 (北大低温研)・秋田谷 英次 (北星学園大学)

### Section planes of snow specimens visualized with sudan black B

A. Hachikubo (Kitami Institute of Technology), H. Arakawa (Yagai-Kagaku),  
K. Nishida (University of Tsukuba), T. Fukuzawa (Institute of Low Temperature Science)  
and E. Akitaya (Hokusei Gakuen University)

A technique for preparing section planes of snow specimens with sudan black B was introduced. Compared with previous methods, this technique is simple and provides high-contrast images and reduction of noises from air bubbles in a specimen.

#### はじめに

積雪は、様々な形状・粒径の積雪粒子の結合で構成されている。同じ密度の積雪でも、雪質の違いによってその積雪粒子同士のネットワークや空隙の形は多様であり、積雪内の熱輸送機構および物質輸送機構を支配する要因となっている。また、積雪の粒子充填構造は積雪の力学的性質を決定している。よって、積雪の構造を明らかにすることは、積雪内での輸送現象だけでなく、表層雪崩の滑り層となる弱層の構造解明などにもつながる、重要な課題である。

積雪の立体構造の観察には、原理的には微小間隔の連続的な積雪断面を重ね合わせる方法が考えられる。積雪粒子の判別可能な積雪断面を得る方法として、「片薄片」の手法が古くから用いられている。著者らは、従来の手法の問題点を克服した、油溶性染料の一種であるスダンブラック B を用いる片薄片製作法について報告する。

#### 従来の手法と問題点

これまでは、アニリン固定法 (木下・若浜, 1959) による「薄片」が、積雪の構造観察に広く用いられてきた (図 1)。しかし、薄片には厚みがあるために、定量的情報、例えば粒度を求める際にはそれを過大評価する傾向があり、不向きと言える。

一方、積雪試料を充填剤で固定したまま、試料の断面を着色して 2 次元的に観察するのが「片薄片」と呼ばれる方法である。成田 (1969, 1971) は、積雪の空隙の部分がアニリンで充填された試料の断面のうち、氷すなわち積雪粒子の部分を親水性のウォータブルで着色する方法を用いた (図 2)。ところが、積雪試料をアニリンで固定する際、試料の空隙中に気泡が残ってしまうことは避け難い。よって、

カンナあるいはマイクロトームで削り出した試料断面に気泡があった場合、それによってできた窪みにウォータブルの粉末が入り込む (図 3) ので、着色された積雪粒子との区別がつかないのが難点である。

#### 本手法の特色

本手法では、油溶性染料のスダンブラック B を用いて、充填剤のアニリンの部分着色する。約 -20℃ の低温室にて、スダンブラック B の粉末を試料断面にまぶしておく、氷の部分にはまったく馴染まないのに対し、アニリンの部分は黒く着色され、コントラストの良い像が得られる (図 4)。前述の気泡の部分にも粉末が入り込み、積雪の空隙部分と見なされるので、ウォータブルを用いる方法の欠点が解消される。

立体構造のイメージ作成に必要な試料断面の画像を取得するには、ノイズ除去などの下処理の労力を軽減し、かつコントラストの良い片薄片写真を得ることが要求されるが、本手法はこの点を十分満たしていると言える。

#### 問題点および今後の展望

アニリンには毒性があり、使用の際には換気などに注意を払う必要がある。代替品としてフタル酸ジメチルなどが海外で使われているが (Perla, 1982 や Good, 1987)、比較実験の結果、スダンブラック B はアニリンと比較してこれらに馴染みにくいことが分かった。したがって、現状では残念ながら、アニリンが最も優れた充填剤ということになる。

また、試料断面上の粒径が 0.1mm 程度の小さい雪粒子になると、本手法では雪粒子の判別が困難であり、低密度 ( $\sim 100 \text{ kg m}^{-3}$ ) の試料については本手法は不適である。解決策として、

スダンブラック B の塗布後に試料表面を磨くことによって、黒く染まったアニリンの部分に光沢を与え（黒光りの状態）、ハーフミラーを用いた垂直落射照明によって氷の部分とのコントラストを逆転させる方法を考案したが、テクニク的に手間がかかり、かつ困難であるのが現状である。

本手法を用いれば、例えばボンドの数密度（単位体積当たりのボンドの数）やボンドの太さを計算機上で求めることが容易となる。また、ミクロな視点から見た、積雪内の熱・物質輸送機

構や弱層の物理的強度などの解明につながるだろう。

## 文献

成田(1969) 積雪の比表面積の測定 I, 低温科学 27, 77-88.

成田(1971) 積雪の比表面積の測定 II, 低温科学 29, 69-80.

Perla(1982) Preparation of section planes in snow specimens, *J. Glaciol.*, 28 (98), 199-204.

Good(1987) Thin sections, serial cuts and 3-D analysis of snow, *IAHS Publ. no. 162*, 35-48.

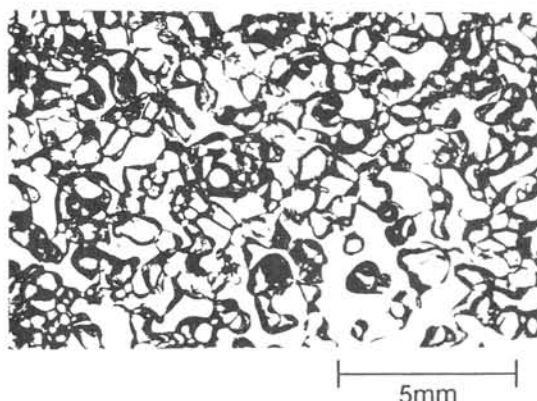


図1 アニリン固定法によるしまり雪の薄片。積雪粒子による網目組織の定性的観察に適している。偏光板と鋭敏色板を用いれば、単結晶である粒子ひとつひとつを識別することができる。

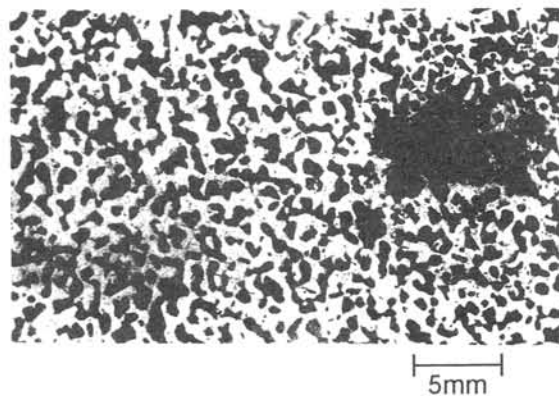


図2 図1と同じ積雪サンプルをアニリンで固定し、ウォーターブルーで着色した試料表面。氷の部分が青く染まるのに対し、アニリンの部分は染まらず白く見える。しかし、気泡による空隙部分も青く見える。

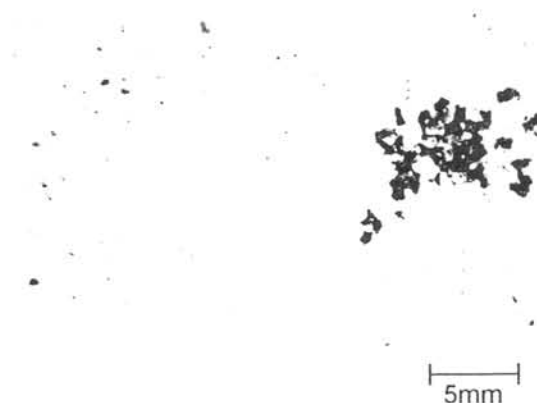


図3 図2の試料表面を 50 $\mu$ m だけ削った時の試料表面。気泡によってできた無数の窪みに染料が黒く詰まっているのがわかる。

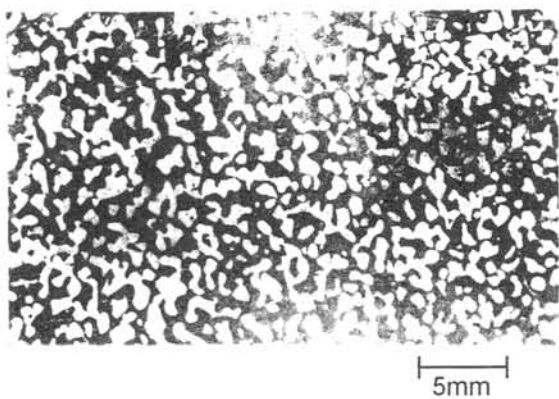


図4 図1と同じ積雪サンプルを、今度はスダンブラック B で着色。図2と対照的に、アニリンの部分が黒く染まり、気泡の部分も黒く見える。

## 極地氷床の空気包接水和物結晶における空気分子の分布

池田倫子<sup>1</sup>, A. N. Salamatina<sup>2</sup>, V. Ya. Lipenkov<sup>3</sup>, 本堂武夫<sup>1</sup>

<sup>1</sup>北大低温研, <sup>2</sup>Kazan State Univ., <sup>3</sup>AARI

Distribution of air molecules within clathrate hydrate in polar ice sheet

T. Ikeda<sup>1</sup>, A. N. Salamatina<sup>2</sup>, V. Ya. Lipenkov<sup>3</sup>, T. Hondoh<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Hokkaido Univ., <sup>2</sup>Kazan State Univ., <sup>3</sup>AARI

The pattern of spatial distribution of air molecules in clathrate hydrate in polar ice sheets depends on the crystal. On the basis of a theoretical model, we performed simulations of variation process of spatial distribution of air molecules in clathrate hydrate. We concluded that the pattern of the spatial distribution is mainly determined by the depth of the formation of the clathrate hydrate crystal and thermodynamic conditions in the ice sheets.

極地氷床中の空気分子は、氷床浅部では気泡として存在するが、深層部では包接水和物結晶に取り込まれる。包接水和物結晶と気泡は、長期間にわたる変遷期 (transition zone) の間、氷中に共存している。

最近、南極 Vostok 氷コアの気泡と包接水和物結晶の  $N_2/O_2$  組成比が transition zone において深度と共に著しく変化すること(空気分別現象)が明らかになった[1]。この空気分別現象は、氷中の空気分子の拡散による包接水和物結晶の成長に起因すると結論された[2,3]。したがって、空気包接水和物結晶内の空気分子の分布は時間と共に変化すると考えられる。Ikeda *et al.* [4]は、顕微ラマン分光法により南極 Vostok 氷コアの空気包接水和物結晶内の  $N_2/O_2$  組成比の分布の測定をおこなった。その結果、空気包接水和物結晶内の  $N_2/O_2$  組成比の分布のパターンは結晶によって異なることが明らかになった。

本講演では、氷床中の空気包接水和物の成長過程の理論モデルを基に、包接水和物における空気分子の分布の変化過程を明らかにする。氷格子中の気体分子の拡散速度、および包接水和物の生成圧力は、温度に依存する。したがって、空気包接水和物結晶内の空気分子の分布は包接水和物結晶の形成深度および氷温を反映したものであると考えられる。

[1] T. Ikeda *et al.*, *Geophys. Res. Lett.*, **26**, 91 (1999).

[2] A. N. Salamatina *et al.*, *Annals Glaciol.*, **29** (in press).

[3] T. Ikeda *et al.*, in *Physics of Ice Core Records*, (in press).

[4] T. Ikeda *et al.*, *Annals Glaciol.*, **31** (in press).



# 雪上滑走路造成に関する実験的研究（2）

亀田貴雄・高橋修平・百武欣二・前田達成（北見工業大学）、菊池規哲・石橋勉  
（陸別町しばれ技術開発研究所）、渡邊興亜（国立極地研究所）

## Experimental study on construction of snow runway(2)

T.Kameda, S.Takahashi, K.Hyakutake, T.Maeda, N.Kikuchi, T.Ishibashi and O.Watanabe

Experimental study on construction of snow runway was carried out from January to February in 1998 and 1999 at Rikubetsu Town, East Hokkaido. A rotary snow plow and a bulldozer were used for the study. Thickness of plowed snow deposition and number of compactness by a bulldozer were selected for the experimental parameters. It was found that the snow runway for large airplanes (ex. C-130) will be formed following procedure: 20cm-thick plowed snow deposition and 4 times compactness by a bulldozer. When we repeat the procedure at 3 times, 60cm-thick hard snow layer which is enough for large airplane will be formed.

### 1. はじめに

日本南極地域観測隊(JARE)では、これまで南極観測船により物資・人員輸送を行なってきた。一方、アメリカやロシアなどでは、大型輸送機（ロッキードC-130、イリュージンIL-76など）により、人員や物資の輸送を行なっている。これは、海氷や裸氷、雪面上に平坦な滑走路を造成し、それを運用してきたことによる。日本でも近年、南極観測への大型航空機導入が議論されている（東、1996；白石、1997）。ここでは、JAREの内陸輸送ルートの拠点となっているS16地点周辺での雪上滑走路造成を検討するために行なった実験結果を報告する。

### 2. 実験方法

実験は、北海道陸別町上トマム地区で1998年および1999年の1月から2月に実施した。この期間は、陸別町では気温がプラスになる日が少なく、南極S16地点の10月から11月の気温にほぼ等しい。圧雪の造成は、ロータリー除雪機を用いて、堆積させた雪をブルドーザーで転圧する事を基本とした。

実験では、1) ロータリー除雪機で堆積させる雪の厚さ（堆積厚d）、2) ブルドーザーで転圧する回数（n）、を変えた試験ます（幅7m×長さ20m）を造成して行なった。除雪機は、一般道での除雪に使用している自走型（HK-130型、開発農機株式会社製）、ブルドーザーはキャタピラー三菱株式会社製DSC型（自重7.3ton、キャタピラ接地圧0.027MPa）を使用した。1998年の実験では主として転圧回数nをパラメーターし、1999年の実験では堆積厚dをパラメーターとして実施した。

### 3. 実験結果

ここでは、堆積厚（d）を変えた実験結果を示す。図1に一回当たりの堆積厚を10cm(a)、20cm(b)、30cm(c)として、ブルドーザーで4回転圧した時の雪の硬度分布（ラム硬度）を示す。図1-(a)、-(b)では、雪を4回に分けて堆積させ、その都度転圧した。図1-(c)では、3回にわけて堆積させ、転圧したが、初回に40cm堆積させたので、厚さは100cmとなっている。図2にC-130型輸送機用の雪上滑走路として必要な雪の硬度分布を示す（Able, 1990）。図1と2を比較すると、1-(a)では厚さは少ないが、図2に示される硬度よりも高い値を示しており、1-(2)では図2とほぼ同様な硬度分布であることがわかる。一方、1-(3)では、部分的に図2の曲線よりも低い値を示すことがわかる。すなわち、ブルドーザーによる転圧を4回とした場合には、除雪機による雪の堆積厚を毎回20cm以下にすると、大型航空機用の雪上滑走路に必要な雪の硬度が得られることがわかった。

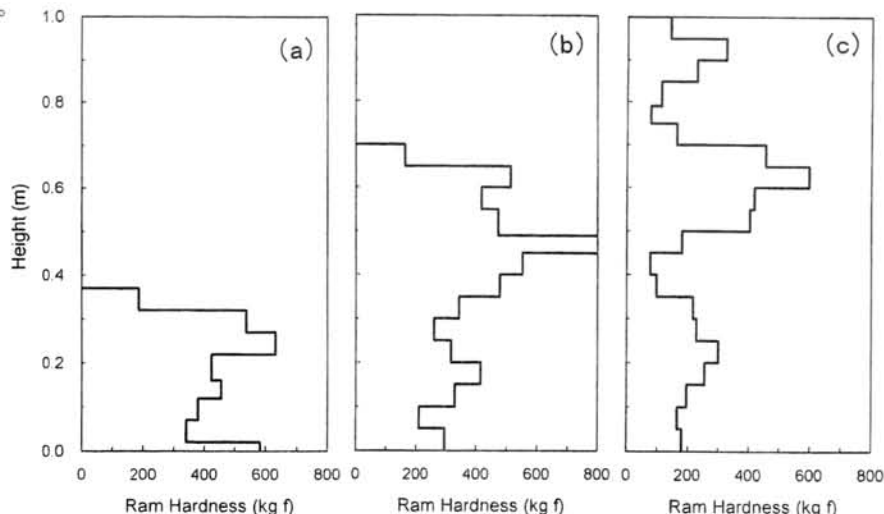


図1 雪の硬度分布（1999年2月20日測定）

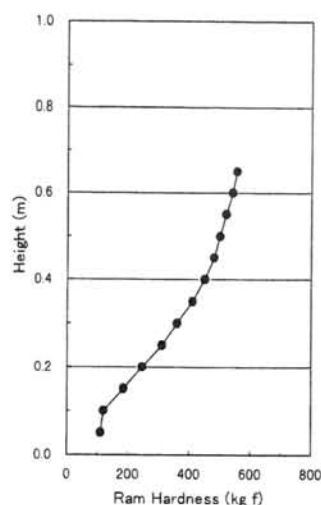


図2 C-130の離着陸に必要な雪の硬度分布



## 南極ドームふじ周辺氷床の2次元断面物理構造

藤田秀二<sup>1</sup>、前野英生<sup>2</sup>、浦塚清峰<sup>2</sup>、古川晶雄<sup>3</sup>、前晋爾<sup>1</sup>、藤井理行<sup>3</sup>、渡辺興亜<sup>3</sup>

(1, 北海道大学工学研究科、2, 郵政省通信総合研究所、3, 国立極地研究所)

Two-dimensional vertical structure of the ice sheet in the vicinity of Dome Fuji

Shuji Fujita, Maeno Hideo, Uratuka Seiho, Furukawa Teruo, Fujii Yoshiyuki, and  
Okitsugu Watanabe

In the Dome Fuji Project, ice radar was used for two major purposes. One is to make a bedmap around the deep drilling site. Another is to investigate internal structure of ice. As a result, data archive comprised of 4 different experimental parameters are established. We present these results as the vertical cross-section radar images. Also, we discuss new findings and physical meanings of these data.

氷床ドーム計画期間中、第33次・第37次観測隊の2隊により、ドーム基地周辺や、昭和ドーム間のルートにおいて氷床のレーダ観測が実施されてきた。観測経過の概要やデータの処理進行状況、それに初期成果については、毎年の極域気水圏シンポジウムにおいて報告をしてきた。本年までに、主要ルートについてのデータプロセッシングは完了し、品質を統一したデジタルデータセットとして編纂を完成した。さらには、衛星搭載の高度計から計測された標高と組み合わせ、氷床の実座標のうえでの画像データとなった。本ポスター発表においては、最新成果としての氷床断面構造画像を示し、今後の氷床研究におけるレーダ技術の重要性について議論する。ここに過去数年にわたった編纂の経過をあらためて示し、さらには画像にとらえられた物理現象の概説をする。

**1, 観測経過：** 第33次隊(1992-1994)においては、ドーム掘削での最適地の選定が最大任務であった。基盤岩をできるだけ高い確率で検知するために選択された観測条件は、179MHzの周波数で、パルス幅1マイクロ秒での幅の広いパルスの観測であった。第37次隊(1995-1997)においては、氷床内部構造の検知が目的であり2周波のレーダを使用した観測となった。60MHzでは250ナノ秒、179MHzでは、150ナノ秒、350ナノ秒という比較的短いパルスを用い、観測を実施した。この結果、昭和基地近傍の沿岸から、みずほ基地を経由し、ドーム基地に至る1000km以上の長さのルートにおいて、こののべ4つの観測条件でのデータが収録された。さらには、ドーム掘削点近傍の領域においても同条件のデータが収録された。

**2, データ処理：** 観測データは、ノイズのカット、受信レベル校正、雪上車速度の変化に対応したサンプリングレートの補正、データ連結の作業が施され、これにより、氷床表面を座標軸とした4種のデータセットが編纂された。水平距離1kmに対し、3測定点の割合となるように編纂された。つまり、1000kmのルートは3000の画素で表現される。これに加え、欧州ERS1衛星から計測された氷床表面高度のデータをもとに、氷床の実座標上のデータとなるように変換を加えた。これにより、画像上の各画素データの絶対位置を特定できるようになり、また氷床の断面形状を正確に再現できるようになった。

**3, 画像のもつ物理情報：** レーダ画像はそもそも、氷床中へ発射された電磁波が散乱されてきた信号を時系列でとらえたものである。電磁波の散乱体が岩盤であるときには氷床と岩盤の境界面の状態をとらえることができる。氷床の内部にも多数の電波散乱体が存在する。主要な要因は、①密度変化、②結晶方位変化、③酸性度の変化であるが、これらの3つの要因のどれも存在しない領域、すなわち、④エコーフリーゾーンも見いだされている。電波散乱の主要因は、地域や氷床の深度により異なり、氷床内部の物理プロセスをひもとく重要な鍵である。前者3つの変動は、すべて氷床内部の当年代堆積平面で発生している。従って、我々は氷床の年層構造をレーダ画像から読みとることができる。結晶方位変化が発生している部位と、エコーフリーゾーンでは、氷床の流動形態が異なると考えられている。しかし、こうした地域からの氷床コア採取は現在まで皆無であるため、実証的な研究は将来の重要な課題である。

**4, レーダ観測の今後：** 氷床内部構造や流動形態を調査する場合、アイスレーダは、非常に強力な観測手段と言える。氷床コアは、氷床内部のもっとも詳細な情報を提供するが、1本の深層コアの掘削には非常に大きな努力を要する。したがって氷床深層コア掘削で広大な南極の各地域をカバーするのは現実的ではない。アイスレーダはこれをおぎなう移動観測手段として今後ますます重要なものになると考える。氷床コア掘削点のレーダ観測から、コアの情報を氷床の3次元に拡張することも可能である。現在発展しつつある多周波の観測によって、上で述べた氷床の4種の物理状態の分布がわかってきた。さらに、現在南極ではまだ実用化されていない高周波領域、すなわちPバンドのUHF帯レーダやLバンドのマイクロ波レーダが、特に氷床の結晶方位情報の取得に威力を発揮できると考えている。氷床内部状態や流動の正しい知識なしには、その挙動や将来の変動の予測は困難である。南極環境変動の理解に必須ともいえるこうした知識を確立していくために、レーダ観測のさらなる展開を期待する。

ドームふじコアにおけるクラスレート数密度が示す古環境情報

平松賢泰(北大大学院地球環境科学研究科・低温研)、  
成田英器、本堂武夫(北大低温研)、  
藤井道子(株式会社ティエスティ)、渡辺興亜(極地研)

Concentration of clathrate hydrate and its information of the past environment  
in the Dome Fuji core  
T. HIRAMATSU, H. NARITA, T. HONDOH, M. FUJII, O. WATANABE

We observed size and shape of clathrate hydrates in the Dome F core using by microscope. The values of number density are related to the fluctuation of  $\delta^{18}\text{O}$  profile closely. Also, it was found the distribution of number density indicated a layer structure. It seems the thickness of layers roughly corresponds to the past accumulation rates estimated by an ice flow model. The result means the values of accumulation rate are able to obtain from observation of clathrate hydrate.

1. はじめに

南極ドームFコアのクラスレート(空気包接水和物)の詳細な測定を行った。ポストークコアやグリーンランドコアの解析の結果では、クラスレートの数密度は、 $\delta^{18}\text{O}$  の値と相関があった。つまり、クラスレートの形状や分布等は、過去の環境情報を保持していると考えられている。そのため本研究では、ドームFコアのクラスレートの数、大きさ、形、分布等に注目し、これまで以上の詳細な測定を行った。

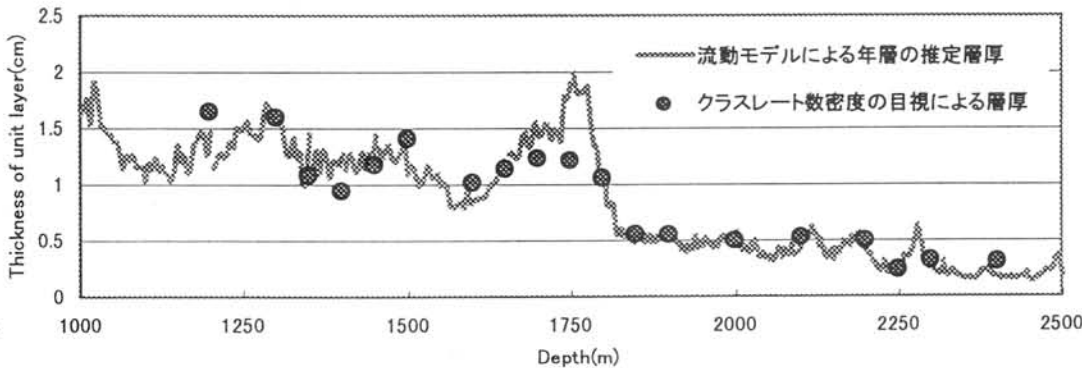
2. 測定と結果

クラスレートの観察は、ドームFコアを深さ方向に約100mm、幅約40mm、厚さ約4mmの薄片を作り、顕微鏡で行った。はじめに、深さ1200m～2500mまで50m毎に、主に深さ方向に約100mm、幅約2.2mm、厚さ約4mmの測定領域で観察し、数、形状、大きさ、分布等を詳細に記録した。数密度の値は、その深さでの $\delta^{18}\text{O}$ の値と逆相関が見られた。また、その一つ一つの深さについて、詳細な数密度分布を求めた。その結果、各深さで、わずか100mmの中に明確なクラスレートの層位構造が見られた。そして、各深さで見られた層位構造の厚さの平均をとり、単純な二層氷床流動モデルに、現在の氷床上で観測された同位体組成－気温、気温－降水量の関係を導入して推定された年層の厚さ(渡辺興亜等, 1998)と比較した。

3. 考察

図は、各深さにおける観察されたクラスレートの層位構造の厚さと、流動モデルにより計算で推定されている年層の厚さとを比較した結果である。これを見ると、各深さでの観察された層位構造が、推定されている年層の厚さと、よく一致しているように思われる。もし、これが本当に年層に相当しているならば、過去の環境変動の解明を最大の目的とする氷床コア研究において、堆積量や年代を決定する新たな指標となり得る。

図 クラスレートの層位厚と流動モデルによる年層の推定層厚



# ドームF 氷床コアのX線回折プロファイル測定

堀 彰, 森川公彦, 成田英器, 本堂武夫 (北大低温研)

X-ray Diffraction Measurement of the Dome-Fuji Ice Core

A. HORI, K. TAYUKI, H. NARITA, T. HONDOH (ILTS, Hokkaido Univ.),

X-ray diffraction measurement was performed for the Dome-Fuji ice cores. Fine mosaic structure of the ice core samples was observed. It was considered to be caused by the polygonization of dislocations introduced during the plastic deformation of ice in the ice sheet.

## 1. 緒言

氷床コアの結晶組織の解明は、氷床の流動モデルの構築を行う上で重要である。従来の氷床コアの結晶組織の研究は、偏光測定により行われてきたが、このような光学的測定で単一の結晶粒と見なされるものが、実は、僅かに方位の違う薄い板状の結晶の集合体であることが、放射光X線トポグラフィを利用した研究で報告されている。

このような微細組織は、氷の塑性変形の結果生ずるものであり、その詳細な研究から、氷床内の氷の変形メカニズムに関して、原子・分子レベルの新しい知見を得ることができる。

そこで、本研究では、X線回折法により、氷床コアの氷結晶の微細な構造を明らかにする。

## 2. 方法

試料は顕微鏡観察用に作製された薄片試料を用いた。また、X線回折測定は、 $-20^{\circ}\text{C}$ の低温室で、精密ゴニオメーターおよび強力X線発生装置を備えた低温仕様の自動X線回折装置を用いて行った。今回使用したX線の出力は60kV-250mA、光学系は、チャンネルカットモノクロ (Ge(220)) および Ge(220) の4結晶光学系を使用し、さらに、受光系にもアナライザー結晶 (Ge(220)) を用いて、精密な測定を行った。

## 3. 結果

ドームFコア薄片試料 (深さ約900m) の、(10-10)面のX線回折強度曲線を、Fig.1 に示す。偏光板を利用した光学的な測定からは、試料内の単一の結晶粒とみなされるものに、 $0.01^{\circ}$  ~  $0.02^{\circ}$  程度角度のずれたいくつかの微細な結晶粒が含まれていることがわかる。また、各ピークに対応する微細結晶粒の格子面間隔はほぼ等しかった。同様の構造は、深さ約1700mの試料でも観測された。

このような構造は、氷床内部で氷結晶の塑性変形の過程で発生した転位の再配列によるものだと考えられる。この構造の結晶方位依存性および深さ依存性は、現在測定中であり、詳細については、当日報告する予定である。

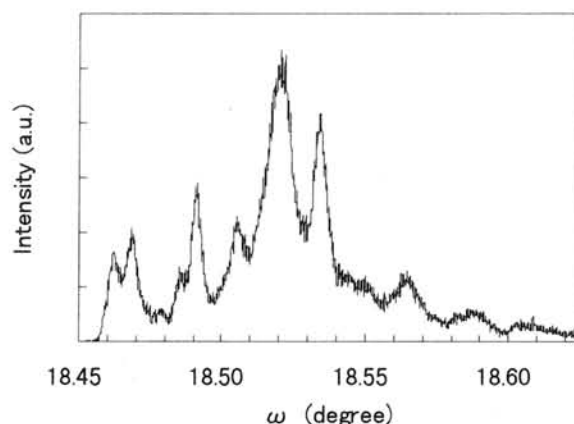


Fig. 1 ドームFコア薄片試料 (深さ約900m) の (10-10)面の回折強度曲線.

ドーム F コアの氷期- 間氷期移行期におけるダストと気温変動

藤井理行・渡辺興亜・神山孝吉・本山秀明・東久美子・  
五十嵐誠・河野美香（極地研）・的場澄人（北大低温研）

$\delta^{18}\text{O}$  and dust concentration in the transitions from glacial to interglacial revealed from Dome-F deep ice core.

Y. Fujii, O. Watanabe, K. Kamiyama, H. Motoyama, K. Azuma,  
M. Igarashi, M. Kohno (NIPR) and S. Matoba (ILTS)

Basic analyses of dust concentration and  $\delta^{18}\text{O}$  of Dome-F deep ice core show the general trend of negative correlation between them. But dust concentration come to their end of the glacial features about 4-6 ka prior to the start of temperature warming. Probable scenarios are presented.

南極ドーム F コアの基本解析の結果、過去 34 万年にわたる 3 回の氷期サイクルを含む気候・環境変化の概要が明かとなった。酸素同位体が示す気温変化と化学主成分の多くの要素、ダスト濃度は逆相関を示すが、氷期末期からの間氷期への移行期に気温変化とダスト濃度変化には、次のような時間的ずれが見られる。1) 氷期の特徴を示す高いダスト濃度が低下完了前に気温の上昇が始まる。2) ダスト濃度の低下完了後、4000~6000 年遅れて気温がピークに達する。また、最終氷期から完新世への移行期のダスト濃度の低下は、海水準の上昇前、すなわち大陸棚面積の縮小前に始まる。

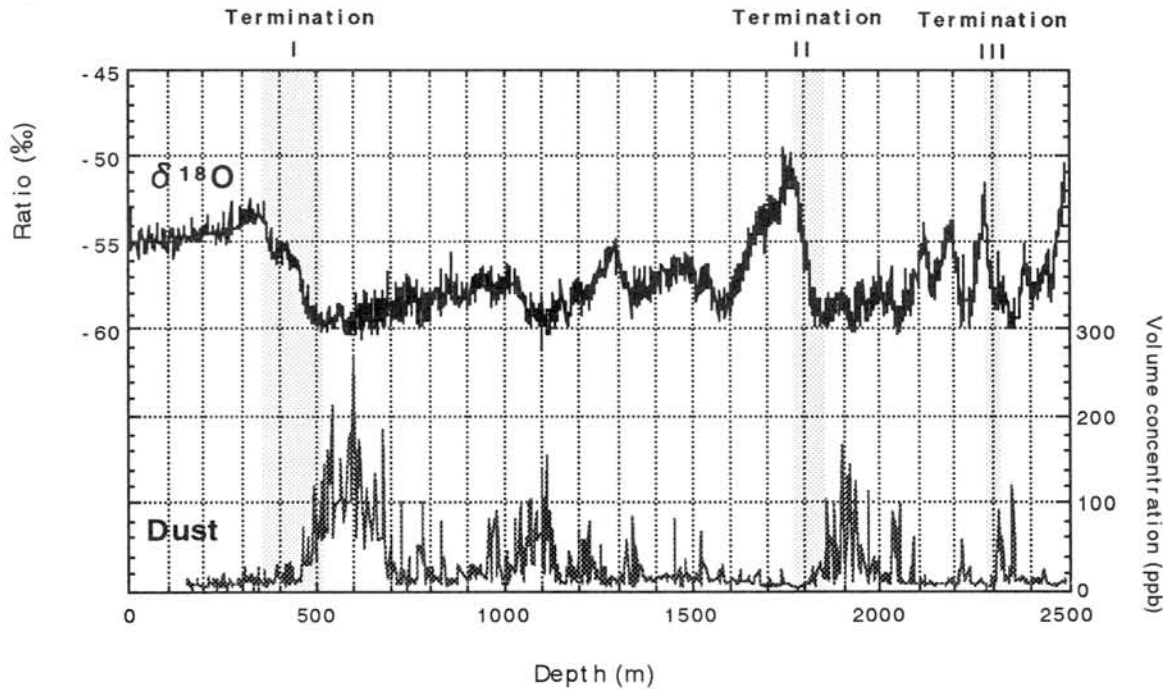


図 氷期-間氷期サイクルにおける酸素同位体とダスト濃度の変化。



# ドームふじコアの気泡及び空気包接水和物結晶の大気組成比

福村拓<sup>1</sup>, 池田倫子<sup>2</sup>, 深澤裕<sup>1</sup>, 前晋爾<sup>1</sup>, 本堂武夫<sup>2</sup> (<sup>1</sup>北大工, <sup>2</sup>北大低温研)

Air composition ratios of air-bubbles and clathrate hydrates in Dome-Fuji core

T. Fukumura, T. Ikeda, H. Fukazawa, S. Mae, T. Hondoh

Ancient atmospheric gases are trapped in polar ice sheets. The gas molecules are stored in air-bubbles at shallower depth. The air-bubbles are gradually compressed with depth and begin to transform into clathrate hydrates. We measured  $N_2/O_2$  ratios of air-bubbles and clathrate hydrates in Dome Fuji Antarctic ice cores using Raman spectroscopy. The result showed the average  $N_2/O_2$  ratio in the air-bubble increases from the atmospheric value at the beginning of the transition zone to 8.0 at the end. The average  $N_2/O_2$  ratio for the clathrate hydrates is 1.75 at the beginning, and asymptotically approaches the atmospheric value. The tendency of variations of the  $N_2/O_2$  ratios in the transition zone is consistent with the result of Vostok ice cores. In the bubble-free ice zone, however, the average  $N_2/O_2$  ratios in clathrate hydrates in Dome-Fuji ice cores is approximately equal to the atmospheric value, while that in Vostok ice cores are slightly larger than the atmospheric value. We concluded that the variation in the composition of gas molecules after coring in DF ice cores is smaller than that in Vostok ice cores.

南極大陸などの極地氷床は、数万年かけて降り積もった雪が圧密されたものであるため過去の大気が保存されている。氷床中の空気は氷床浅部では気泡として存在するが、深さとともに圧力が増加するため空気包接水和物結晶に変化する。気泡と空気包接水和物結晶は氷床内において非常に長い深さ領域にわたって共存しており、この領域は transition zone と呼ばれている。

Ikeda *et al.* [Geophys. Res. Lett., 26, 91, 1999]は南極 Vostok コア中の気泡及び空気包接水和物のラマンスペクトルの測定を行い、transition zone において気泡及び空気包接水和物中の空気の  $N_2/O_2$  比が大きく変化することを発見した。彼らは、この変化は気泡と空気包接水和物間の氷格子中を空気分子が拡散移動することに起因すると結論した。氷格子中の空気分子の拡散速度は温度に依存するため、気泡及び空気包接水和物の空気組成は氷温を反映することが予測される。そこで本研究では、Vostok コアと氷温が異なる南極ドームふじコアの気泡及び空気包接水和物のラマン散乱の測定を行い、 $N_2/O_2$  比の詳細な深さ依存性を調べた。

測定の結果、以下のようなことが明らかになった。気泡の  $N_2/O_2$  比は transition zone 浅部では大気組成比(3.7)に等しいが、深さとともに増加する。一方、空気包接水和物中の空気の  $N_2/O_2$  比は transition zone の浅部では約 1.75 であるが、深さと共に増加し大気組成比に近づく。この結果は、Vostok コアから得られた変化と同様な傾向を示している。また、Vostok コアの transition zone 以深の空気包接水和物の  $N_2/O_2$  比の平均値は大気組成より大きい(4.0)のに対し、ドームふじコアの平均値は大気組成にほぼ等しく 3.8 であることが明らかになった。この結果は、Vostok コアと比較して、ドームふじコア氷の包接水和物は、掘削後の空気組成の変化が小さいことを示していると考えられる。また、講演では空気包接水和物の  $N_2/O_2$  比と結晶の大きさとの関係をもとに、空気包接水和物の生成過程について議論する。



# 南極ドームFにおける積雪、大気エアロゾル および酸性ガスの化学 (4)

金森悟・金森暢子 (名古屋大学)、渡辺興亜・藤井理行・  
本山秀明 (極地研)、東信彦 (長岡技大)、亀田貴雄 (北見工大)

Chemistry of snow, atmospheric aerosol and acid gas  
at Dome F, Antarctica(4)

S. KANAMORI, N. KANAMORI(Nagoya Univ.), O. WATANABE, Y. FUJII,  
H. MOTOYAMA(NIPR), N. AZUMA(Nagaoka Univ. Tech), KAMETA(Kitami Inst. Tech.)

Contribution of atmospheric aerosol and acid gases upon chemical composition of falling snow, drifting snow and other snow materials has been studies for these 4 years at Dome F Station, Antarctica. Nitric acid is possibly incorporated into falling snow as condensation nuclei of cloud particles. Nitric acid, nss. sulfate and MSA show possible modification of their distribution in upper snow cover.

はじめに 表題の研究は、ドームFの深層コアが示す各種成分の分布がどのようなメカニズムで形成されたか、又これからどれだけの事を読みとれるかを明らかにする事を目的として始めたものである。予想に反する観測結果や、新しい事実の発見等もあって、情報の蓄積と共に進歩はあったが、まだ十分確かな結論を得ていない。しかしこの研究も既に4年目になり、これまでの研究を総括して報告する。研究の手法については既に報告した。

結果 1) 大気から雪への化学成分の取り込み ドームFには、降雪、飛雪、まりも、霜、ダイヤモンド・ダスト等があるが、これらが含む化学成分の起源は、大気エアロゾルおよび揮発性の酸・アルカリのガス等である。上記の各相の中の化学成分濃度の周年変化を比較すると、 $\text{HNO}_3$ では、ガス成分と大気エアロゾルの間に正の相関があるが、 $\text{H}_2\text{SO}_4$ については認められない。又これらの大気中の化学成分は、降雪中のバック・グラウンド濃度と正の相関がある。飛雪、まりも、霜、ダイヤモンド・ダスト等でも同様な関係が認められる。しかし3-4月に $\text{H}_2\text{SO}_4$ とMSA, また8-9月に $\text{HNO}_3$ の濃度が降雪中で非常に高くなり、地表大気中のエアロゾルや酸性ガスから予想される濃度よりはるかに高い。 $\text{HNO}_3$ の場合には、雪を降らせた雲が生成した時、核として取り込まれた可能性があるが、 $\text{H}_2\text{SO}_4$ とMSAについては確かではない。この点では霜は降雪と良く似た変化を示し、化学成分を濃縮する点では降雪以上である。降雪と霜が何故似た挙動を示すのかは不明である。飛雪とまりもは、共に降雪や霜ほどは化学成分を濃縮しない。

2) 浅い積雪中での変化 降雪が地表に積もった後、表面下数十cm 以内で化学成分の濃度が減少する場合がある。最も明瞭でよく見られるのは $\text{HNO}_3$ であり、 $\text{H}_2\text{SO}_4$ とMSAについても明瞭に認められる場合がある。これらの成分は、表面に近い積雪中で何らかの化学変化の為に濃度変化を起こしている可能性がある。最後に残った濃度分布がなにを示すかについても考察する。

# 南極ドームふじ積雪中の火山起源硫酸エアロゾル

○河野美香・藤井理行 (極地研)

## Volcanic sulfuric aerosol in snow at Dome Fuji, Antarctica

Mika KOHNO and Yoshiyuki FUJII (NIPR)

It is important to estimate the amount of sulfur dioxide ( $\text{SO}_2$ ) emitted from the past explosive volcanic eruptions in order to assess the effect on climate. The  $\text{SO}_2$  emission at the time of the 1991 eruption of Pinatubo in Philippines was estimated by a glaciological method based on sulfate ion concentration and bomb-produced total  $\beta$  activity in snow collected in the Antarctica. The glaciological estimate of the  $\text{SO}_2$  emission is 49 Mt  $\text{SO}_2$ , somewhat exceeding the spectroscopic estimate obtained by a satellite-carried total ozone mapping system (20 Mt  $\text{SO}_2$ ). We conclude that the glaciological method is useful to estimate  $\text{SO}_2$  emissions of past explosive volcanic eruptions.

火山灰やガス ( $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{SO}_2$ , Cl など)は、爆発的な火山噴火に伴って成層圏に多量に注入される。 $\text{SO}_2$ などの硫黄成分を含む気体分子は、細粒の火山灰粒子を核として凝結・凝集し、成層圏で硫酸を主体とする硫酸エアロゾル層を形成する。このエアロゾル層は太陽放射を吸収・散乱し、噴火後の数年間地表気温を低下させるなど気候に影響を与える。従って、火山噴火に伴う硫黄の放出量を見積ることは、噴火後の気候への影響を評価する上で重要である。

成層圏の硫酸エアロゾルは広範囲に広がり、極域では雪と共に氷床上に降下・堆積する。従って、大規模な火山噴火の1~2年後に相当する雪氷層は火山灰粒子を含んでいたりと、また、その融解液は高い硫酸イオン濃度を示す。この硫酸イオン濃度を基にした噴火時の硫黄放出量の推定方法の原理 (Hammer et al., 1980)を以下に述べる。硫酸エアロゾルと同様に、大気圏核実験で成層圏に注入された $^{90}\text{Sr}$ や $^{137}\text{Cs}$ などの放射性物質も氷床上に堆積する。硫酸エアロゾルの氷床への到達割合が、放射性物質のそれと同じであると仮定すると、放射性物質の放出量と核実験後に氷床に堆積した放射性物質の量比をスケールリングファクターとして積雪採取地における硫酸堆積量に乗じることで、給源火山の噴火時の硫黄放出量が得られる。一方、近年の火山噴火による硫黄放出量は、人工衛星からの噴煙観測に基づいて推定されている。本研究では、南極ドームふじ (77°19' S, 39°42' E, 3810 m a.s.l.)で1997年1月に得られた積雪の化学分析に基づいて、近年の大規模噴火による硫黄放出量を推定した。そして、噴煙観測に基づく推定値との比較から、雪氷層の化学分析に基づく推定値の妥当性を検討した。

低温実験室内で、積雪ブロック試料を表面から109 cm深まで深さ方向に0.8~2.5 cm間隔で採取した。化学分析には、イオンクロマトグラフ (Dionex model DX-500)を用いた。年涵養量 ( $32 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ )に基づくと、109 cm深層は1989年に相当する。1992年~1994年層と推定される層 (49.5~21.5 cm深)に2つの顕著な硫酸イオン濃度ピークが検出された。これらは、1991年6月のピナツボ火山 (フィリピン)および同年8月のセロ・ハドソン火山 (チリ南部)噴火時の硫黄に起因するものと考えた。硫酸堆積量は、海洋生物活動によって生産されるジメチルサルファイド (DMS) 起源の硫酸も含まれるので、火山起源の硫酸イオン濃度ピーク以外の硫酸イオン濃度の平均値をバックグラウンドとして差し引いた。ピナツボ火山起源硫酸量の推定値 (49 Mt  $\text{SO}_2$ )は、衛星観測によるその2.5倍程度であった (20 Mt  $\text{SO}_2$ ; Bluth et al., 1993)。このことは、極域雪氷層に堆積した硫酸量に基づく推定方法が、過去の大規模噴火に伴う硫黄放出量の推定に適用できることを示している。今後、硫酸ピークの現れる層の融解液を濾過し、硫酸エアロゾルの核となった火山灰粒子の有無を確認する予定である。

## 南極ドームふじ観測拠点における積雪層の季節変化

本山秀明、神山孝吉、渡辺興亜(極地研)

Seasonal variation of deposited snow at Dome Fuji Station, Antarctica

Motoyama, H. Kamiyama, K. and Watanabe, O.(NIPR)

An ice core of 2503 m in depth was obtained at Dome Fuji Station. The detailed past climatic condition has been derived from the core. It is necessary to reveal the change in deposited snow for explain the core signals. The monthly snow pit observations were conducted in 1997 by JARE38. The characteristics of physical and chemical change in snow were studied.

(はじめに)

南極ドームふじ観測拠点(南緯77度 19 分、東経 39 度 42 分、標高 3810m)にて 2503m までの深層コアが採取されている。このコアから得られる情報は膨大なものになる。現在のドーム周辺の堆積環境を明らかにしておくことは、このコア情報を解釈する上で必要不可欠である。38次越冬期間中、厳冬期を除いて1ヶ月毎の積雪断面観測を行ったので行ったので報告する

(観測結果)

図1に積雪断面観測の層位を示す。観測地点は基地の東 200m の観測区域である。1ヶ月前の観測断面の影響が及ばないようにそこから遠く離したいことと、特定な層が追えるほど近くしたいという、相反する条件を考慮し、毎回 2 m ほど東に前進して断面を作成した。比較的風の弱い「ドームふじ」であるが、雪面のわずかな凸凹により、堆積が優先する場所と削剥が優先する場所が生じる。それに加えて、層内での雪粒子の変態が生じるので、各断面観測で観測した特徴的な層を追うことには困難さがある。一般的な特徴として、コシモザラメ層とシモザラメ層の発達が著しいが、鉛筆も刺さない硬雪層が部分的に形成されている。雪温分布を図2に示す。年平均気温がマイナス 50 度台であり、晴れて風の弱い極夜には、雪面温度がマイナス 80 度以下に下がる。白夜には逆にマイナス 20 度台に上昇する。この強い温度勾配(言い換えると水蒸気勾配)によって、水蒸気輸送及び雪粒の変態が生じている。

(考察)

同じ過程を経て形成されたと思われる層を3つ選び、それぞれA層、B層、C層とした。その層に含まれる3つの陰イオン ( $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ) および安定酸素同位体比  $\delta^{18}\text{O}$  の季節変化を図3に示す。イオン種によって、変動パターンが変わっていることと、 $\delta^{18}\text{O}$  も季節変化している様子が見られる。このような堆積後の変質を、起源物質である降雪・ドリフトの季節変化及び少し広域のドーム周辺の観測結果もいれて考察する。

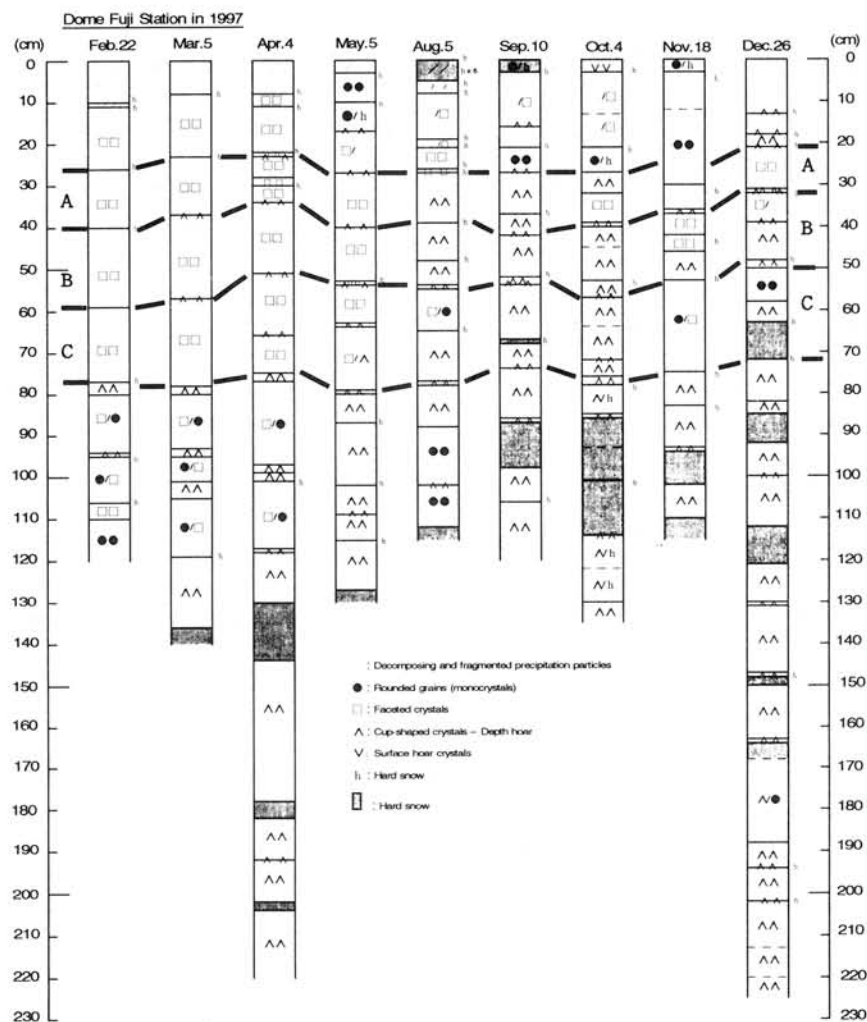


図1 積雪断面の層位の季節変化

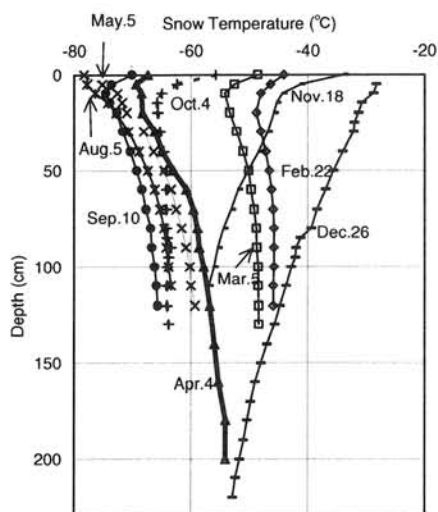


図2 雪温分布の季節変化

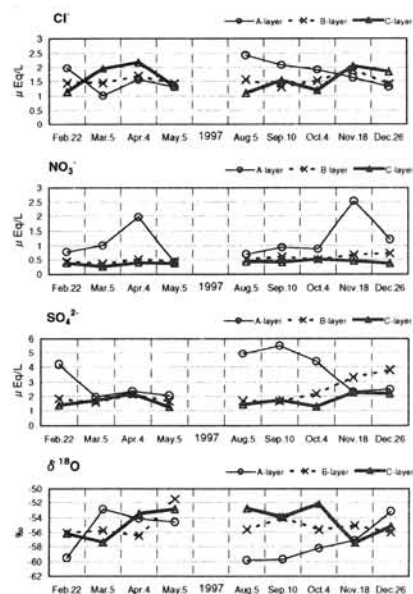


図3 選択した3層の陰イオンと安定酸素同位体比の季節変化

1997-1998 南極ドーム基地周辺無人気象観測

高橋修平, 亀田貴雄, 榎本浩之 (北見工大), 鈴木啓助 (信州大), 本山秀明, 渡辺興亜 (極地研),  
G. A. Weidner, C. R. Stearns (University of Wisconsin)

AWS observations around Dome Fuji Station in Antarctica (1997-1998)

S. Takahashi, T. Kameda, H. Enomoto (Kitami Institute of Technology),  
K. Suzuki (Shinshu University), H. Motoyama, O. Watanabe (NIPR),  
G. A. Weidner, C. R. Stearns (University of Wisconsin)

The Japanese Antarctic Research Expedition (JARE) has set up Automatic Weather station (AWS) at six sites between Syowa station and Dome Fuji station since 1993. Large temperature rises in winter of 10 to 20° C in a day were observed at the stations several times in a year. There were two patterns of time delay of temperature rises in 1995 data. One was that the temperature rise at Mizuho station preceded the others, which occurred when a disturbance came from the coast between east Enderby Land and Amery Ice Shelf. Another one was that the temperature rise at Dome Fuji station preceded the others, when a disturbance came from west Wilkes Land.

1. 無人気象観測

南極ドーム深層氷掘削計画の一環として、堆積環境等を研究目的とした無人気象観測が、1993 (JARE34) - 1998 (JARE39) に行われた (図 1)。今回は 1997-1998 (JARE38-39) の観測結果を主に報告する。

2. 冬期昇温現象

これまでの観測において、冬期の低温期間に内陸部全域で気温が急上昇する昇温現象が毎年のように見られた。1997-1998年においても、その昇温現象は兩年ともに見られた (図 2)。

その昇温出現時刻を詳細に比較すると、海岸部から進行する場合と、内陸部から進行する場合がある。それらは大気擾乱が海洋部から大陸に進入するときの経

路の違いによると思われる。また、こうした冬期昇温現象は、大気の水平方向不安定性に由来し、気圧の半年周期変動と関連するという説もある。

3. 夏期昇温現象

冬期間ほど頻繁ではないが、夏期にも昇温現象が見られる。1996年初めの夏には顕著な昇温現象が見られ、その現象については現在解析中である。

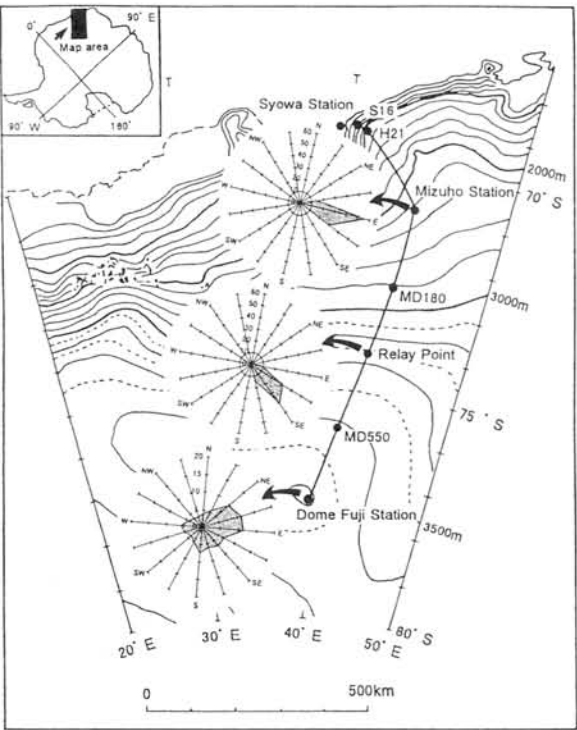


図 1 南極ドーム基地周辺の無人気象観測地点  
3 地点の風向頻度ダイアグラムも示す。  
AWS stations between Syowa and Dome Fuji stations

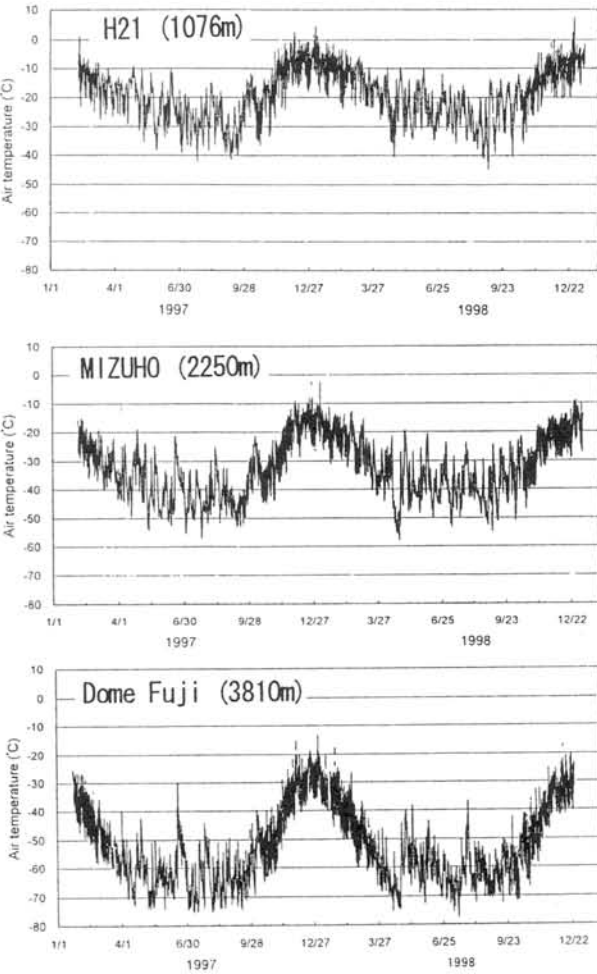


図 2 各観測地点の気温 (1997-1998年)  
Temperature at three stations (1997-1998)



# しもざらめ雪形成に伴う積雪の安定同位体分別

八久保 晶弘（北見工大）・橋本 重将・中尾 正義（名大大気水圏研）  
・西村 浩一（北大低温研）

## Isotopic mass fractionation of snow due to depth hoar formation

A. Hachikubo (Kitami Institute of Technology), S. Hashimoto, M. Nakawo (Institute for Hydrospheric Atmospheric Sciences) and K. Nishimura (Institute of Low Temperature Science)

Stable isotopic ratios (D and  $^{18}\text{O}$ ) of depth hoar were measured experimentally. Snow specimens were under large temperature gradient ( $90^{\circ}\text{C m}^{-1}$ ) for about 2 weeks.  $\delta\text{D}$  and  $\delta^{18}\text{O}$  decreased about 1‰ at the part of low temperature, in contrast to an increase at the part of high temperature. Isotope diagram of the data showed a slope of 2.4-3.1, which indicated that the isotopic fractionation on sublimation depends on kinetic isotope effect.

### はじめに

雪氷コア解析においては、コア中の酸素・水素の安定同位体比（ $\delta$  値）が様々な情報を提供する。一方で、雪面近傍の積雪内では水蒸気が移動できるので、昇華に伴う同位体分別によって堆積時の  $\delta$  値のプロファイルは変化する（例えば、季節変動のシグナルは平滑化される）。したがって、雪氷コアから得られる様々なシグナルを正しく解釈するためには、氷床最上部を占める積雪層内における物質輸送過程を知ることが不可欠である。筆者らは今回、低温室においてしもざらめ雪を作り、同位体プロファイルが定量的にどの程度変化するかを調べたので報告する。

### 実験方法

低温室において約2週間、縦24cm×横27cm×高さ15cmの積雪試料に約  $90^{\circ}\text{C m}^{-1}$  の大きな温度勾配を鉛直方向にかけて、しもざらめ雪を作成した。ヒーターユニット付きの断熱箱からなる実験装置（図1）は、加熱プレート側のみ温度制御が可能であり、冷却プレート側は低温室の室温で制御する。

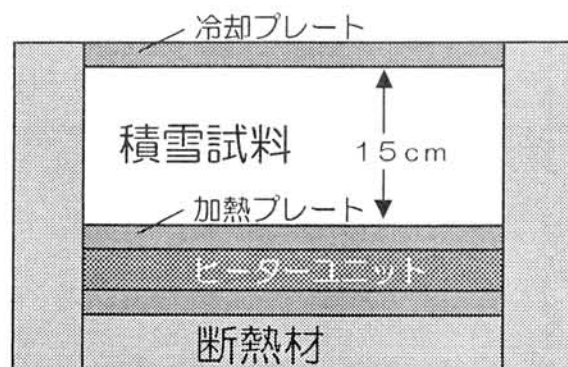


図1 実験装置の概略。

積雪試料には、北海道中山峠のしまり雪をふるいでほぐし、十分かき混ぜたものを使用した。実験装置に雪を詰めたとときの積雪密度は約  $380\text{kg m}^{-3}$  であった。また温度環境や、重力方向に対する温度勾配の向きなどによる違いを見るために、パラメータを変えた実験も行なった。

積雪試料はいずれも丈夫な「かたしもざらめ雪」に変化する（図2）。これらの試料を水平に1cmおきにバンドソーでカットして15に分割し、それぞれ融解させて測定試料とした。



図2 実験後の積雪試料のアニリン薄片。霜結晶は下からの水蒸気供給方向に向かって成長する一方、粒子の上部には昇華蒸発によるなめらかな面が出ている。

## 実験結果および考察

これらの試料について $\delta^{18}\text{O}$ ・ $\delta\text{D}$ を測定した結果、昇華蒸発の卓越する高温部では $\delta$ 値がいずれも大きくなり、一方で昇華凝結の卓越する低温部では $\delta$ 値がいずれも小さくなった(図3)。変化量は $\delta^{18}\text{O}$ で1‰以上、 $\delta\text{D}$ で4‰近くに達した。また、大きな変化は試料の上端・下端だけに見られ、特に昇華蒸発側の変化量が大きかった。試料上下端以外の部分の積雪粒子は、一方で水蒸気を昇華凝結させて霜結晶を作り、他方で昇華蒸発させる「水蒸気の手渡し輸送」が行なわれる(図2)ので、マクロに見れば $\delta$ 値がほとんど変化しなかったと考えられる。

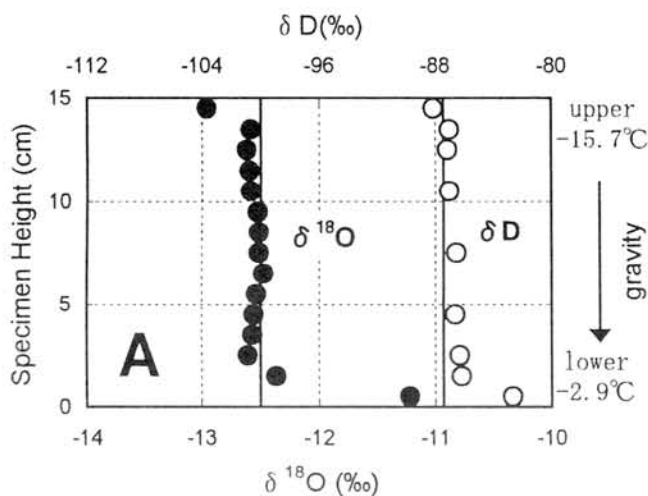


図3 試料下部を加熱した場合の $\delta$ 値のプロファイルの変化 (A)。実線はそれぞれの初期値。

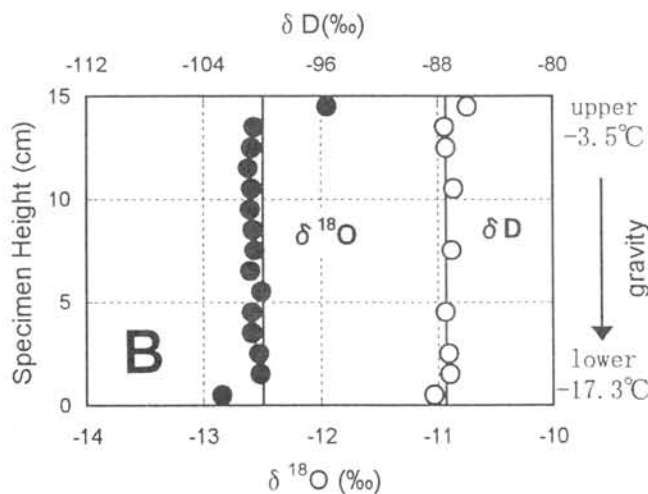


図4 試料下部を冷却した場合の $\delta$ 値のプロファイルの変化 (B)。実線はそれぞれの初期値。

また、重力方向に対する温度勾配の向きを逆転させた実験結果と比較すると(図4)、両者の温度ならびに温度勾配の絶対値がほぼ等しい

にもかかわらず、試料下面を冷却した場合より加熱した場合の方が、上述の $\delta$ 値の変化量は大きかった。このことは、積雪試料内の水蒸気輸送係数が対流によってわずかに増加したことを示唆している。

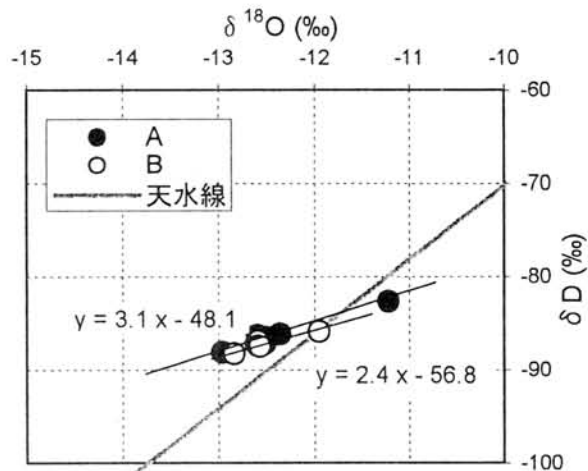


図5  $\delta^{18}\text{O}$ - $\delta\text{D}$  グラフ。数式はそれぞれの回帰式。

これらのデータから $\delta^{18}\text{O}$ - $\delta\text{D}$  グラフの傾きを求めると、2.4~3.1という小さい値が得られた(図5)。天水線の傾きの値である8に対し、水の蒸発の際には動的同位体効果によって傾きの値が約5になることが知られており、この値は蒸発速度に依存している。したがって、水の蒸発の場合と同様、氷の昇華現象においても動的同位体効果に支配されていると考えられる。

## 今後の展望

安定同位体濃度が粒子スケールでどのように分布しているのか、新しくできる霜結晶そのものはどれだけ軽いのか、そして昇華蒸発の卓越する氷表面では重い安定同位体はどう存在するのか、今後の研究が待たれるところである。

また、今回は予備実験という位置づけで、 $\delta$ 値の変化の検出を主目的としたため、温度勾配が極端に大きくかつ短時間で行なわれた。したがって、これらの結果を極地の現象にそのまま適用することはできない。今後は、現実的な条件に近づけて基礎データをさらに蓄積する一方で、積雪内の水蒸気輸送理論との対応についても検討していきたい。

## 謝辞

$\delta\text{D}$  測定の際には、東工大総合理工学研究科の吉田尚弘教授にお世話になりました。また、北大低温研の石井弘道技官には実験装置を制作していただきました。

## VIII - 2

### 針状氷晶の枝の形成過程について 権田武彦・清忠師（愛知学院大学・教養部）

Formation process of the branches of needle ice crystals grown from the vapor phase  
T. Gonda and T. Sei (Division of General Education, Aichi Gakuin University)

Formation process of the branches of needle ice crystals was investigated in situ. As a result, at higher supersaturation than water saturation, the branches with round tip are formed at each corner of the crystals. On the other hand, at the supersaturation near water saturation, the branches with facets are formed at each corner of the crystals by two-dimensional nucleation.

#### はじめに

気象学或いは雲物理学の分野では、雪結晶の研究の多くは、その形の美しさから樹枝状結晶に関するもので、C-軸方向に成長する針状結晶に関するものは非常に少ない。しかし結晶成長学の立場から見ると、その形の単純さから針状結晶に関する研究からスタートしている。針状結晶の先端は、Parabolic であると仮定して、結晶の成長と共にその先端の形がどのように変化するかを研究するものである。

Frank は、多くの写真から Snow crystal (1982) の中で、針状結晶の成長過程のモデルを提案した。今回、このモデルが正しいかどうかを調べるために、その場観察法によって針状結晶の成長過程を観察した。

#### 実験結果

##### (1) 水飽和以上の高い過飽和度での成長

水飽和以上の高い過飽和では、母結晶の中空角柱の各コーナーから先端が丸い第一枝がC-軸方向に成長する。成長と共に過飽和度がさがるので、第一枝の先端にファセット（小面）ができ、子結晶の中空角柱が成長する。次に過飽和度を上げると、子結晶の中空角柱の各コーナーから、再び先端が丸い第二枝が成長し、第一枝と同様の過程を辿って成長する。

##### (2) 水飽和近くの過飽和度での成長

水飽和近くの過飽和度では、母結晶の中空角柱の各コーナーに2次元核が形成され、ステップは各縁に沿って移動する。また、次々に各コーナーに形成される2次元核によって作られたステップが縁に沿って移動するが、やがてこれらは束ね合う。その結果、各コーナーから先端にファセットを持つ第一枝がC-軸方向に成長する。成長と共に過飽和度が下がるので、子結晶の第一枝は、ファセットを持った中空角柱に変わる。次に再び過飽和度を上げると、第一枝の中空角柱の角コーナーに第一枝と同様のメカニズムによって、ファセットを持つ第二枝が出来る。これらの詳細については、講演の際述べる。

## 氷床コアのレーザートモグラフ堆積構造解析装置の開発と評価

高田守昌 (総合研究大学院大学)、藤井理行 (国立極地研究所)

### Development of laser tomograph system for stratigraphic study of polar ice core

M. Takata (Grad. Univ. Advanced Studies) and Y. Fujii (NIPR)

Stratigraphic analysis of ice cores has not been quantitatively and speedy carried out yet. Therefore we developed a laser tomograph system to analyze the detailed stratigraphic structure of polar ice cores. We used He-Ne laser as light source and a CCD camera as a detector of a scattered image of bubbles. Both the laser system and the camera were moved simultaneously in uniform speed and the images were recorded in a digital video recorder. Detailed stratigraphic structure of ice core was obtained by processing images of two dimensional distribution of air bubble in ice. We describe the principle of the laser tomography, the optimum conditions of measurement and image processing and evaluation of this method.

**1. はじめに** 氷床コアの堆積構造解析は重要な測定項目であるが、目視による解析が主であり、定量的かつ迅速な解析を可能にする装置の開発は遅れていた。そこで、定量的な解析が可能で、高精度かつ迅速な堆積構造解析装置の開発を行った。氷化後の氷床コアの堆積組織と構造は気泡の形状・数の分布として表せるので、気泡の検出を光学的手法を用いて行なった。

**2. 測定方法** 氷と空気屈折率の違いにより生じる散乱を利用し気泡検出が可能なレーザートモグラフを開発した。本装置では、レーザー光を試料の側面から入射し散乱光を試料の上面からビデオカメラで撮影する方式とした。氷試料を全長に渡り測定するため、レーザー光源とビデオカメラを同時に等速度で移動させながら撮影しデジタルビデオで記録した。デジタルビデオ上の画像は動画としてパソコン上に取込まれ、動画から得られる多数の静止画像を画像処理することにより微細堆積構造解析を行なった。

**3. 実験・結果** 長さ 90mm(x 方向)、幅 45mm(y 方向)、厚さ 25mm(z 方向)に切り出した氷試料を用い、レーザートモグラフによる測定を行なうとともに、片薄片観察でこの氷中に存在する気泡の三次元の分布を測定した。この両者の気泡分布を比較し、その一致率からレーザートモグラフによる画像処理方法の検討を進めた。テストに用いた氷試料の密度は  $870\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$  であり  $10^{-1}\sim 10^0\text{ mm}$  オーダーの気泡を多数含んでいた。レーザートモグラフにより測定する直前に、氷試料の測定面およびレーザー入射面は平らに整形した。ビデオカメラの撮影範囲は、x 方向が約 35mm、y 方向が約 25mm であり、画像の解像度は約  $0.05\text{mm/dot}$  であった。ま

た、レーザー光源とビデオカメラの移動速度は約  $5\text{mm/s}$  とした。レーザートモグラフによる光軸上の積算散乱強度と片薄片観察による気泡率の相関は悪かった。そこでこれらの問題を解決するため、二点についての画像処理方法の改良を行った。まず、レーザー入射の近傍と遠方に存在する気泡を同等に評価するために、全ての画像を二値化することにした。そして、レーザー入射点から遠方の気泡が検出されていないことを改良するために、レーザー光軸から離れた地点においても気泡による散乱が起ることを利用し、レーザー光軸を中心としたある幅の画像を用い加え合わせる方法とした。この改良した画像処理方法により氷中の気泡を検出するため、レーザートモグラフの撮影条件、画像処理上の変数の最適値およびレーザー照射により気泡が検出可能な範囲について検討した。検討の結果、レーザートモグラフによる測定と実際の気泡から求めた気泡率は、下図に示すよう良好な関係となり、相関係数 0.8 で評価することが可能となった。

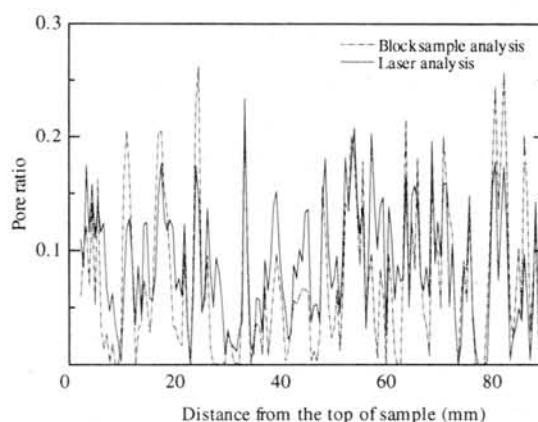


図 レーザートモグラフと実際の気泡分布得られた気泡率の比較



## 東南極ハムナ氷河底面氷の形成過程

飯塚芳徳(総研大)、佐竹洋(富山大学)、白岩孝行、成瀬廉二(北大低温研)、渡辺興亜(極地研)

### Formation processes of the basal ice at Hamna glacier, East Antarctica

Y. Iizuka (Grad. Univ. Advanced Study), H. Satake (Toyama Univ.), T. Shiraiwa, R. Naruse, (ILTS),  
O. Watanabe (NIPR)

A debris-laden basal ice is exposed along an ice cliff of the Hamna glacier, Sôya Coast in the Queen Maud Land, East Antarctica. The basal ice, hereafter we call Hamna Basal Ice, is approximately 6.8 m in thickness and shows conspicuous stratigraphic features. The upper 5.5 m is composed of alternating layers of bubble-free and bubbly ice both of which have dimensions from millimeters to centimeters in thickness. The lower 1.3 m contacts with crystalline basement rock and consists predominantly of bubble-free massive ice containing stratified debris.

A high resolution profiling of co-isotopic values, as thin as 1.5 mm in thickness at the minimum case, enabled us to consider the formation processes of the Hamna Basal Ice. Because the  $\delta^{18}\text{O}$  of the bubble-free ice is about 6.0 ‰ heavier than that of the bubbly ice and the difference corresponds to that observed within single fractionation in theoretical refreezing (Jouzel and Souchez, 1982), the Hamna Basal Ice is suggested to be formed by subadjacent accretion of single refreezing ice corresponding to each pair of bubble-free and bubbly ice layers. It also suggests sequential refreezing of meltwater occurring at the ice-bed interface in the Sôya drainage basin.

Slopes defined by fractionation curves of  $\delta^{18}\text{O}$  versus  $\delta\text{D}$  obtained from each pair of bubble-free and bubbly ice layers are close to 8.0 and the correlation coefficients were high ( $r^2 = 0.99$  for the maximum). Therefore, each a ternating layer is suggested to have been formed by refreezing of melt water in an open system (Souchez and Jouzel, 1984). The Hamna Basal Ice has translucent ice layer too. The  $\delta$  slope of a pair of the translucent and neighboring bubbly ice is not 8.0 but 5.5 and the alternating layer has peaks of anion species. It suggests that pair layer was formed by refreezing in a nearly closed-system.

#### 1. はじめに

底面氷とは氷河・氷床の底面に存在し、基盤起源の岩石粉碎物を保持している氷である。底面氷は氷河・氷床上流の基盤付近で形成されるため、その形成過程の解明は未解明な部分の多い氷河・氷床上流地域の底面物理状態の情報をもたらす。

本研究の目的は、底面氷の物理・化学解析から、東南極ハムナ氷河底面氷の形成過程の解明することである。

#### 2. ハムナ氷河底面氷の形成過程

採取されたハムナ氷河底面氷の層構造、結晶粒径、結晶方位を低温室内で解析した。ハムナ氷河底面氷は6.8m厚であり、基盤に水平に透明氷層、気泡氷層、固体粒子含有層などの層構造を持つ。また、層構造の違いから、基盤から1.3mを境に上部と下部に大別できる。

層構造解析後、任意の厚さに氷を切り出し、融解させ、その安定同位体比(酸素、水素)、溶存イオン濃度を測定した。図1に底面氷上部の層構造解析、厚さ1.5mmごと分



析した安定同位体比( $\delta$  値)、溶存陰イオン濃度の結果を示す。透明氷層の酸素安定同位体比は隣接する気泡氷層のそれに比べて高く、その差は $\delta^{18}\text{O}$ で6‰以内である。底面氷下部でも同様の結果が得られた。この値は水-氷間の凍結時に生じる理論的(Jouzel and Shuchez, 1982)、実験的(Lehmann and Siegenthaler, 1991)な同位体分別値と等しく、ハムナ氷瀑底面氷が融解再凍結で形成されたことを示す。隣接する透明氷と気泡氷の互層中の酸素安定同位体比はなめらかな曲線で振幅を描いている。これは、透明氷と気泡氷の互層が独立した(一回の)融解再凍結で形成されたことを示す。

ハムナ底面氷には透明氷層とは異なる気泡濃度の薄い氷の層(以下半透明氷層と呼ぶ)も存在し、半透明氷層と隣接する気泡氷層の間でも同位体分別が生じている。再凍結過程における酸素安定同位体比と水素安定同位体比の分別線の傾きは透明氷-気泡氷間(図1 A)で8.0に近く、半透明氷-気泡氷間(図1 B)で約5.5である。この傾きは再凍結過程における融解水の挙動を反映している(Shuchez and Jouzel, 1984)。また、陰イオン濃度は透明氷-気泡氷間では大きな変化が見られないが、半透明氷層-気泡氷層境界で高い値を示す。層構造の違いによる同位体の傾きやイオン濃度の違いは、透明氷-気泡氷間では氷床基盤付近に存在する融解水の一部が系から排出し、凍結過程においてイオン種が排出される(開放的な)系で再凍結し、半透明氷-気泡氷間では融解水およびイオン種が排水されにくい(閉鎖的な)系で再凍結したことを示唆する。

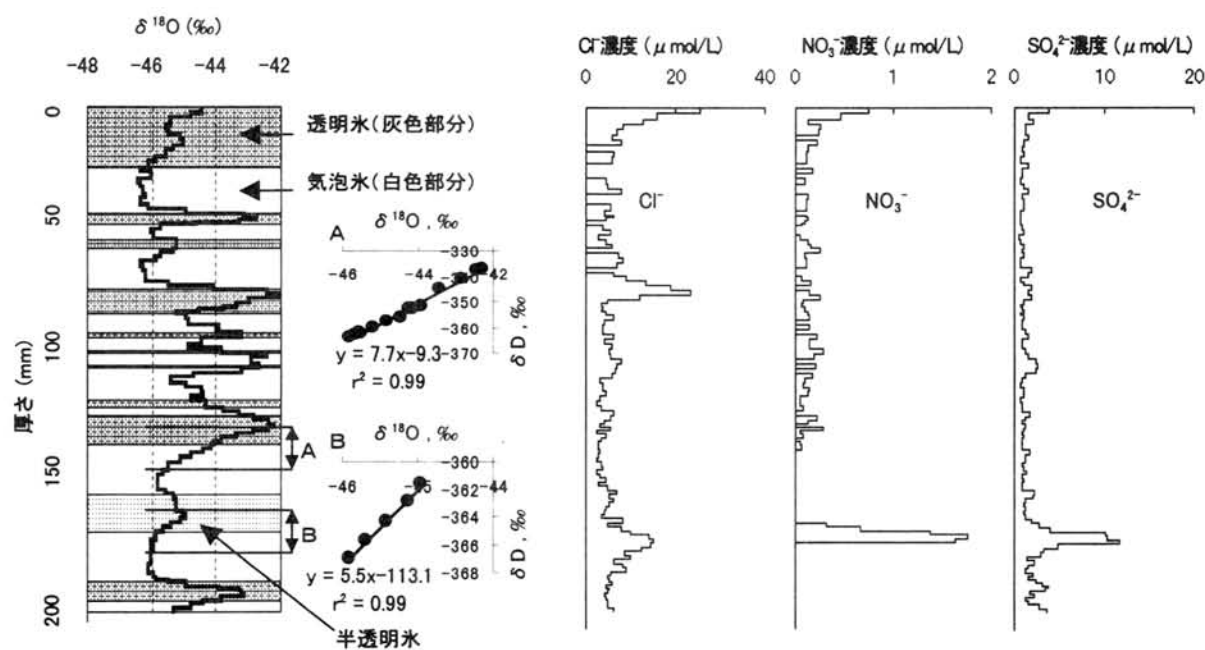


図1 ハムナ底面氷の層構造、安定同位体比、陰イオン濃度

#### 参考文献

- Jouzel and Shuchez(1982). Melting-refreezing at the glacier sole and the isotopic composition of the ice. *Jour. Glaciol.* 29 (98) 35-42.  
 Lehmann and Siegenthaler(1991). Equilibrium oxygen- and hydrogen-isotope fractionation between ice and water. *Jour. Glaciol.* 37 (125) 23-26.  
 Shuchez and Jouzel(1984). On the isotopic composition in  $\delta\text{D}$  and  $\delta^{18}\text{O}$  of water and ice during freezing. *Jour. Glaciol.* 30 (106) 369-372.

## VIII - 5

2次元および3次元における指数則流体の構成方程式に関する考察  
浮田甚郎 (地球フロンティア/国際北極圏研究センター/アラスカ大学)

### ABSTRACT

In this talk, I introduce a general theoretical framework in which a large class of non-Newtonian and non-viscous constitutive equations can be either categorized or approximated. It is motivated from a complex behavior of large scale ( $> 10$  km) deformation of sea ice that realizes shear ridging for simultaneous pure-shear and convergent motions. This suggests the presence of inter-dependence between nondeviatic and deviatic stress and strain rate components. I derive an index with which this kind of a highly non-linear constitutive equation can be categorized. It also gives a simple way of defining a hierarchy of 2- and 3-dimensional plastic, viscous, and granular constitutive equations including Glen's law commonly used in glaciological research.

はじめに

海水（および氷床）の内部応力と変形や変形速度の関係は、大気や海洋において一般に用いられる線形粘性（Newtonian）構成方程式とは全く異なり非線形でしかも非粘性の構成方程式で表わされる。このような非粘性構成方程式に関しては一般化された基準原理または分類法が存在しない。ここでは、このような2次元もしくは3次元における非粘性非線形構成方程式に対しても有効な分類を行うための指標に関する研究の結果を発表する。

### 2次元構成方程式

まずここでは海水を例とするような2次元問題を仮定し、応力と変形速度をそれぞれ  $\sigma$  と  $\dot{\epsilon}$  であらわす。この時一般に  $\sigma = \sigma_I \mathbf{I} + \sigma_{II} \mathbf{J}$  および  $\dot{\epsilon} = \dot{\epsilon}_I \mathbf{I} + \dot{\epsilon}_{II} \mathbf{J}$  の関係式が成り立つ。ここで  $\sigma_I$ 、 $\sigma_{II}$ 、 $\dot{\epsilon}_I$ 、 $\dot{\epsilon}_{II}$ 、 $\mathbf{I}$ 、 $\mathbf{J}$  は各々、nondeviatic 応力、deviatic 応力、nondeviatic 歪速度、deviatic 歪速度、単位行列、単位行列の1つの固有値が負になったものとする。2次元構成方程式は2つの独立した関係式、 $\sigma_I = \sigma_I(\dot{\epsilon}_I, \dot{\epsilon}_{II})$ 、 $\sigma_{II} = \sigma_{II}(\dot{\epsilon}_I, \dot{\epsilon}_{II})$  もしくはその逆関数の対であらわされる。

### 高次元における指数則流体

非Newtonian 流体は任意で複雑な構成方程式の形をとりうるが、その多くは各項について見れば指数則に従う。これは構成方程式が歪速度の多項式で表わされるかもしくは近似する事が出来るもので、1次元の場合には、deviatic（せん断）応力をdeviatic 歪（ずり）速度の多項式表記をすることによって得られる（例、Ostwald 流体）。しかしながら、海水のように2次元で  $\sigma_I$ 、 $\sigma_{II}$  が各々独立でしかも両方が  $\dot{\epsilon}_I$ 、 $\dot{\epsilon}_{II}$  による関数であるような場合、みかけの粘性係数が無限大に発散するよう事が起き普遍的な分類法の基準としては適さない。そこで、有限な変形速度にたいして次のように定義する指標、 $n$ 、を考える。

$$o(|\dot{\epsilon}|^n) = \sup_{\dot{\epsilon}_I, \dot{\epsilon}_{II}} \frac{|\sigma(\dot{\epsilon})|}{|\dot{\epsilon}|}。$$

ここで定義された  $n$  は有限な変形に対して有限な応力がある限りある値をとり、又  $\sup$  の変りに  $\inf$  を使う事により、有限な応力に対する有限な変形を考える事も出来る。ここで定義された指標に従えば海水などの塑性構成方程式は  $n = -1$  に、 $n = 0$  は非線形も含むより広義な粘性流体、更に  $n = 1$  は粉流体にそれぞれ対応する。また氷床力学における基本的な構成方程式である Glen の法則に適用すると、そこで使われる指数を  $m$  としたとき、 $n = 1/m - 1$  という関係が成り立ち、例えば  $m = 1$  の時は  $n = 0$  で粘性流体に対応し、 $m$  が大きくなれば  $n = -1$  に近づき塑性に近い性質を表わしていることが分かる。

## 干渉合成開口レーダの南極氷床域への適用

小澤 拓(総合研究大学院大学)  
土井 浩一郎, 澁谷 和雄(国立極地研究所)

## Application of Synthetic Aperture Radar interferometry for Antarctic ice sheet

Taku OZAWA (The Graduate University for Advanced Studies)  
Koichiro DOI, Kazuo SHIBUYA (National Institute of Polar Research)

**Abstract.** The synthetic aperture radar interferometry (In-SAR) is a remote sensing technique enabled us to generate the Digital Elevation Model (DEM) and to detect the surface displacement. We applied In-SAR to the ice sheet around Sôya Coast area, and generated the ice sheet DEM and detected the ice flow. The obtained DEM grids with a spatial resolution of 50 m by 50 m have a root-mean-square (rms) error of 15.3 m. The ice flow field derived from In-SAR was one-dimensional value to the satellite look direction of SAR, but we could calculate the ice flow vectors so that the ice flow direction is assumed to be consistent with the direction of the maximum gradient of the ice sheet surface.

**はじめに.** 合成開口レーダ(Synthetic Aperture Radar: SAR)は人工衛星や航空機から照射されたマイクロ波の後方散乱波を受信することにより、空間的に数 10 m 程度の高分解能で地球表面の画像を得ることが可能なリモートセンシング技術である。特に、SAR は水蒸気の影響を受けないことや、日射を必要としないアクティブセンサであることから、雲や極夜に影響を受けず、安定して同一地域の画像を得ることができる。さらに、SAR を測地学的に応用した干渉 SAR は、異なる時期もしくは異なる場所から観測した SAR 画像を位相について干渉させることにより、数～数 10 m 程度の高さ精度で地形標高モデル(DEM)を作成可能で、さらに数 cm 程度の精度で地表面の変位を検出することが可能である。一方、南極氷床上で、数 10 m の空間分解能を持つ DEM が作成されている地域はまれである。また、標高や氷床流動を得るための現地における測地測量は、広大な南極氷床上ではクレバス地帯などの危険域が存在することや、観測計画上の時間的制約により困難である。よって、干渉 SAR のようなリモートセンシングによって DEM や氷床流動を観測できれば有意である。本報告では、昭和基地周辺(S69.0°, E39.5°)の宗谷海岸域において JERS-1 衛星によって取得された SAR データを用い、干渉 SAR 法の氷床域への適用例を紹介し、考察する。

**干渉 SAR.** 人工衛星に搭載された SAR を用いて干渉 SAR を適用する場合、衛星の回帰周期(JERS-1:44 日)ごとに同一地域を観測した SAR データを用いる。衛星軌道は観測毎に数 m～数 1000 m ずれるので、異なる時期に異なる場所から同一地域を観測することになる。これらの SAR 画像をピクセル単位で位置合わせをし、各ピクセルごとの位相について位相差をとると、系統的な位相差が生じた地域に干渉縞があらわれる。系統的な位相差は、観測毎の軌道の差(軌道縞)、地形の起伏(地形縞)、地表面の変位(変動縞)によって生じ、これらの干渉縞が重なって現れる。軌道縞は衛星軌道情報などからシミュレートし、除去できる。氷床はほとんどの地域で定常的に変動しているため、氷床上の干渉画像では地形縞と変動縞が重なって現れる。そこで、Kwok and Fahnestock (1996)や Joughin et al. (1996)は時間的 3 連続に取得された SAR データから 2 枚の干渉画像を作成し、地形縞と変動縞を分離する、3 パス干渉 SAR 法を提唱した。この 3 パス干渉 SAR 法を適用し、得られた地形縞、変動縞から、それぞれ DEM および氷床流動情報を検出することが可能である。

**宗谷海岸域における干渉 SAR の適用.** 本研究では 1996/6/16, 1996/7/30, 1996/9/12 に JERS-1 によって得られた宗谷海岸域における SAR データに 3 パス干渉 SAR 法を適用し、地形縞、変動縞を分離した。さらに、得られた地形縞から作成されるモデル高が、画像内 23 点における測量による高さと合うように、最小二乗法で変換パラメータを推定し、DEM を作成した。このとき、モデル高と測量高との残差の 2 乗和(root mean square)は 15.3 m であった。次に、得られた変動縞から計算した氷床流動量を Figure 2 に示す。干渉 SAR から得られる変動場は SAR 衛星の視線方向に対する一次元量であり、それに直交する流動成分には感度を持たない。しかし、別の方法で氷床流動方向を得ることができれば、氷床流動の絶対量を得ることができる。そこで、氷床流動方向を氷床表面の最大傾斜方向と仮定して、氷床流動ベクトルを推定した(Figure 3)。得られた 44 日間の氷床流動は葉月氷河で最大 2 m が得られ、ラングホブデ氷河では 10 m 程度の流動が得られたが、ラングホブデ氷河において、流動量が 10 m 以上であると推定される地域では干渉が得られなかったため、流動情報を得ることができなかった。

## References

- Kwok, R. and Fahnestock, M. A. (1996): Ice sheet motion and topography from radar interferometry, IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing, 34, 189-200.
- Joughin, I., Winebrenner, D., Fahnestock, M., Kwok, R. and Krabill, W. (1996): Measurement of ice-sheet topography using satellite-radar interferometry, J. Glaciol., 42, 10-22.

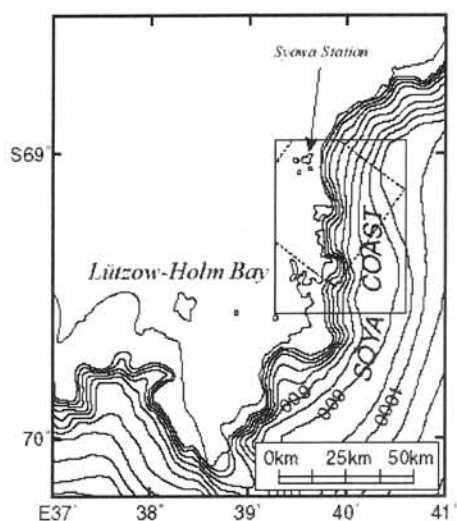


Fig. 1. 宗谷海岸地域の地図  
黒線は本研究地域を示す

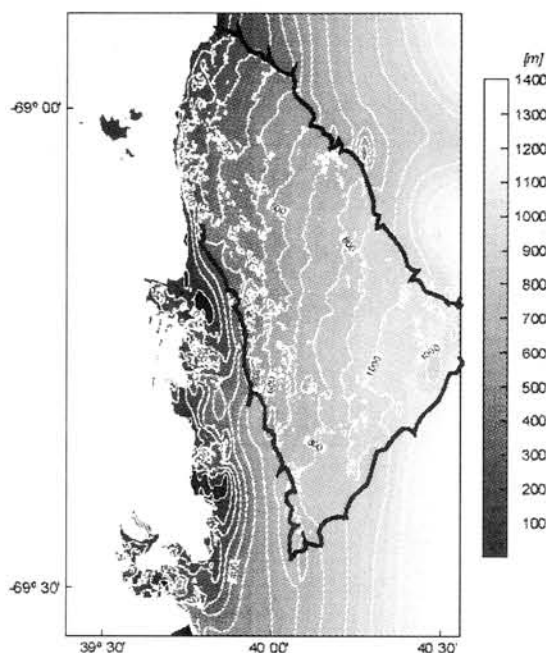


Fig. 2. 干渉 SAR から得られた地形標高モデル

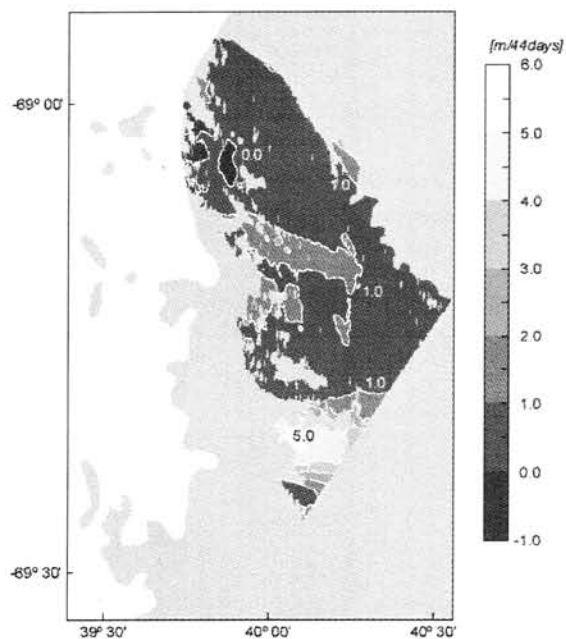


Fig. 3. 干渉 SAR から得られた氷床流動場

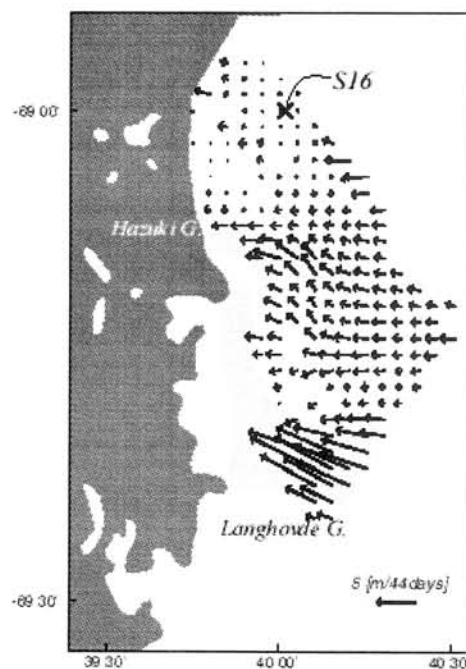


Fig. 4. 氷床表面の最大傾斜方向を氷床流動  
方向と仮定して得られた氷床流動ベクトル場

◆◆◆文部省科研費・特定領域研究(B)シンポジウム案内◆◆◆

極域氷床深層コア解析による地球環境変動の復元研究

◇日時：平成 11 年 12 月 9 日（金）13:00～15:30

◇場所：国立極地研究所講堂  
板橋区加賀 1-9-10

◇プログラム

（司会）

△前 晋爾

（発表者）

△渡辺興亜：ドームふじコア解析計画

△藤井理行：深層コアに記録された陸海域起源物質と気候変動

△青木周司：氷床コアから得られた過去の大気組成変動

△本堂武夫：深層コアの物性と氷床変動

△庄子 仁：両極氷床コアの物理的性質に関する比較研究

◇主催：特定領域研究(B)〔極域氷床深層コア解析による地球環境変動の  
復元研究〕総括班

◇その他の事項：参加自由、参加費無料

◇問い合わせ先：〒173-8515 東京都板橋区加賀 1-9-10

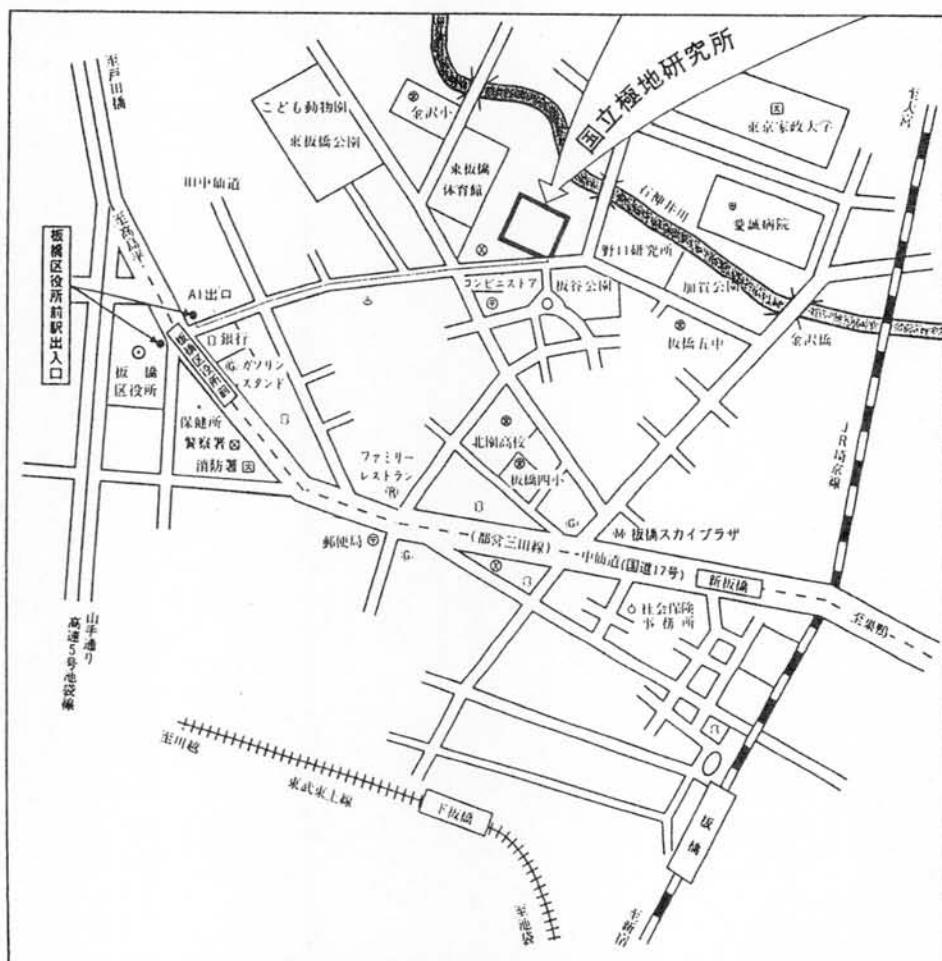
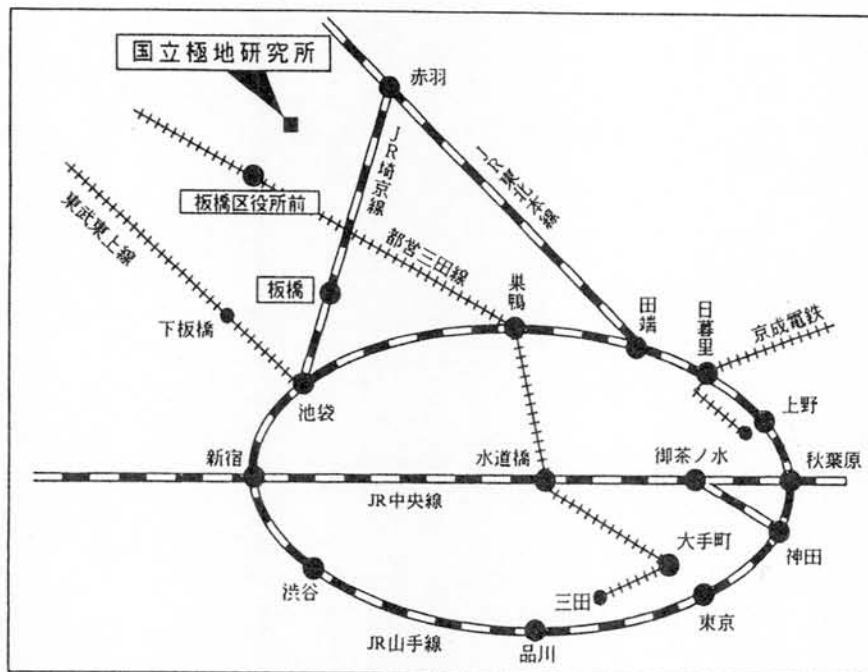
国立極地研究所気水圏グループ

（特定領域研究(B)研究事務局）：神山孝吉

TEL: 03-3962-5517 FAX: 03-3962-5719



# 案 内 図



●地下鉄(都営三田線)「板橋区役所前」駅下車A1出口徒歩10分

●JR埼京線「板橋」駅下車徒歩15分

## 国立極地研究所

〒173-8515 東京都板橋区加賀1-9-10

電話 03(3962)4712

FAX 03(3962)2529

